Direction des eaux intérieures
Conservation et Protection
Région du Québec

Inland Waters Directorate
Conservation and Protection
Québec Region

VARIABILITÉ SPATIALE ET SAISONNIÈRE DE LA QUALITÉ DE L'EAU DU FLEUVE SAINT-LAURENT

Environnement Canada
Environment Canada

90-06688/

VARIABILITÉ SPATIALE ET SAISONNIÈRE DE LA QUALITÉ DE L'EAU DU FLEUVE SAINT-LAURENT

Par

Louis Désilets

et

Claude Langlois

Environnement Canada
Centre Saint-Laurent
Direction des eaux intérieures
105, rue McGill, bureau 400
Montréal, Québec
H2Y 2E7

Mars 1989

VARIABILITÉ SPATIALE ET SAISONNIÈRE DE LA QUALITÉ DE L'EAU DU FLEUVE SAINT-LAURENT

Par

Louis Désilets[1]

et

Claude Langlois

Environnement Canada
Centre Saint-Laurent
Direction des eaux intérieures
105, rue McGill, bureau 400
Montréal, Québec
H2Y 2E7

Mars 1989

1 Adresse actuelle: Pêches et Océans, 901, rue Cap Diamant,
C.P. 15500, Québec, Qc, G1K 7Y7

RÉSUMÉ

Le but de ce rapport était d'identifier des ensembles de paramètres et des zones homogènes de qualité de l'eau du fleuve Saint-Laurent et de décrire leur variabilité saisonnière. Les données de 77 stations échantillonnées à trois reprises durant l'année 1983-1984 ont été soumises à des analyses statistiques multivariées: corrélations, analyse de variance, analyse en composantes principales, classification ascendante hiérarchique et analyse discriminante. Ces dernières ont mis en évidence la saisonnalité de la majorité des paramètres. Cette saisonnalité influence à son tour les groupements de stations qui varient au cours de l'année. À partir de l'ensemble des paramètres (caractéristiques physiques, ions principaux, nutriments, métaux) on a identifié dix groupes homogènes au printemps, six l'été et sept l'automne. La qualité des eaux de ces groupes est dominée par les caractéristiques physiques et la minéralisation, qui masquent la contamination par des apports en nutriments et en métaux. Ces deux catégories de paramètres ont fait à leur tour l'objet d'analyses de groupements pour mettre en évidence les zones de contamination.

Les résultats montrent qu'à la sortie du lac Ontario, on retrouve les eaux en provenance des Grands Lacs, dites "eaux vertes", caractérisées par une faible turbidité, une forte minéralisation et une faible teneur en éléments nutritifs. Au niveau du lac Saint-Louis, ces eaux sont confrontées aux "eaux brunes" en provenance de la rivière des Outaouais et, de façon générale, de tous les affluents de la rive nord, qui coulent sur les roches du Bouclier laurentien. Les eaux brunes sont caractérisées par leur couleur et leur turbidité élevées, et une faible minéralisation. Comme le mélange des eaux est lent, l'influence de la rivière des Outaouais se fait sentir près de la rive nord du fleuve jusqu'à Repentigny, où les eaux de la rivière L'Assomption s'y joignent. À Trois-Rivières, on retrouve une influence par les tributaires du nord du lac Saint-Pierre, puis par la rivière Saint-Maurice, parfois

jusqu'à Portneuf. Les eaux se mélangent à partir de Leclercville avec le reflux causé par la marée, et sont homogènes à la hauteur de Québec.

Le fleuve est aussi affecté dans sa qualité par des apports de nutriments ou de métaux d'origine industrielle, dans le cas de Cornwall (nord), des rivières Saint-Louis et Saint-Maurice. Il est aussi affecté par des rejets d'égouts, dans le cas du petit bassin de Laprairie, de la baie de Valois, des rivières Mille Iles, Des Prairies et L'Assomption, et par des rejets diffus provenant d'activités agricoles, dans le cas de la rivière L'Assomption, des îles de Sorel, et de la rive sud de Trois-Rivières à Leclercville.

L'analyse des relations entre paramètres a montré que les indices de minéralisation, de même que les caractéristiques physiques et les métaux, étaient reliés entre eux, alors que les nutriments et les composés organiques ne le sont pas. Les métaux totaux sont également reliés aux caractéristiques physiques. Les ensembles de paramètres demeurent les mêmes au fil des saisons.

SUMMARY

The purpose of this assessment was to identify sets of interrelated water quality parameters as well as water quality homogeneous zones in the St. Lawrence River, and to describe their seasonality. Data from 77 stations sampled three times during 1983-84 fiscal year were analysed using various multivariate statistical techniques: correlations, ANOVA, principal component analysis, hierarchical ascending classification and discriminant analysis. Seasonality was shown for most of the parameters. Station clustering is influenced by seasonal variation. Ten groups of stations were identified in spring, six in summer and seven in fall following a cluster analysis performed on all parameters (i.e. physical characteristics, major ions, nutrients and metals). As water quality of the above groups was mostly explained by physical characteristics and mineralization, cluster analyses were also performed on nutrients and metals respectively in order to better differenciate contaminant inputs from background levels.

Results show that the Great Lakes waters found at the outlet of Lake Ontario and known as the "green waters", are characterized by low turbidity, high mineralization and poor nutrient levels. The "green waters" are then combined downstream in Lake St. Louis with the "brown waters" from the Ottawa River and all rivers flowing on the Precambrian Shield from the North Shore. These are characterized by high turbidity and colour levels, and a poor mineralization. As there is a poor mixing of the two water masses, the "brown waters" flow along the shore line down to Repentigny where new waters are brought by the L'Assomption River. The "brown-green" pattern is maintained further downstream by the inputs from the Lake St. Pierre northern tributaries, the St. Maurice River at Trois-Rivières as well as other tributaries down to Portneuf. The pattern is broken down when waters are mixed together under the tide effect. A completely homogeneous cross section is found downstream at Québec City.

Water quality of the St. Lawrence River is affected by nutrient or metal industrial effluents found at Cornwall (North shore), St. Louis and St. Maurice river mouths. It is also affected by municipal wastewaters, as found in the Laprairie little basin, the Valois Bay (West of Montréal), the Mille Iles River, the Des Prairies River and the L'Assomption River mouth. Non point sources of agricultural pollutants are also found at the L'Assomption River mouth, the Sorel Islands, and the South shore from Trois-Rivières to Leclercville.

A study of interparameter relationships showed that major ions, as well as physical characteristics or total metal parameters where related with each other whereas nutrients and organics where not. Total metal concentrations are also related with physical characteristics. The above identified sets of parameters where not affected by seasonality.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les nombreuses personnes qui ont permis la rédaction de ce rapport. Nos remerciements vont d'abord à ceux qui ont récolté les échantillons, à savoir M. Janson et L. Choinière (étudiante), de la DEI à Longueuil, D. Labonté de la DEI à Sainte-Foy et la Garde côtière canadienne, district de Québec. Nos remerciements vont également à la section des laboratoires de Longueuil et au Laboratoire national de la qualité de l'eau à Burlington, pour l'analyse des échantillons. Nous ne pourrions passer sous silence le travail de gestion et de transformation des données pour analyse statistique, effectué par M. Lamb, M. Charette et P. Beaudoin de la section des systèmes informatiques de la Direction de la qualité des eaux à Hull. L'aide d'A. Lamarche, de la Direction de la protection de l'environnement à Montréal, a été aussi fort appréciée lors de l'interprétation des données. La publication du rapport a été rendue possible grâce à la collaboration de G.D. Haffner, de la Direction de la qualité des eaux (Hull). La dactylographie a été faite par D. Brûlé (Longueuil) et S. J. Tippins (Hull). A. Germain, J. Haemmerli et R. Kwiatkowski, de la DEI, et Y. Grimard, du MENVIQ ont consenti à réviser la version provisoire de ce rapport.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
RÉSUMÉ	v
SUMMARY	vii
REMERCIEMENTS	ix
TABLE DES MATIÈRES	xi
LISTE DES TABLEAUX	xiv
LISTE DES FIGURES	xv
INTRODUCTION	1
1.0 MÉTHODOLOGIE	3
1.1 Description des stations d'échantillonnage	3
1.2 Paramètres mesurés et fréquence d'échantillonnage	5
1.3 Matériel et méthodes d'échantillonnage, d'analyse et d'interprétation	6
2.0 VALIDATION DES DONNÉES	11
2.1 Contrôle de la qualité	11
2.1.1 Erreurs de transcription	11
2.1.2 Cohérence des données entre elles	11
2.1.3 Comparaison avec des données historiques	12

TABLE DES MATIÈRES (suite)

		Page
2.2	Préparation des données pour l'analyse statistique	13
2.2.1	Préparation des données pour l'analyse statistique sommaire	13
2.2.2	Préparation des données pour l'analyse statistique multivariée	14
3.0	**DESCRIPTION DES RÉSULTATS**	17
3.1	Caractéristiques physiques	17
3.2	Ions principaux	19
3.3	Nutriments	20
3.4	Métaux	22
3.5	Pesticides	24
3.6	Microorganismes pathogènes	25
3.7	Bilan	27
4.0	**ANALYSE DES RÉSULTATS**	29
4.1	Variabilité saisonnière	29
4.2	Relations entre paramètres	35
4.2.1	Corrélations entre paramètres	35
4.2.2	Analyse en composantes principales	38
4.3	Analyse des relations entre stations	41
4.3.1	Groupements de stations, par paramètre	41
4.3.2	Analyse de sections transversales, par paramètre	47
4.3.3	Définitions de zones homogènes générales par saison, à partir de l'ensemble des paramètres ..	49

TABLE DES MATIÈRES (suite)

Page

4.3.4 Groupements homogènes pour les nutriments, par saison 61

4.3.5 Groupements homogènes pour les métaux, par saison 68

5.0 **DISCUSSION** 75

5.1 Variabilité saisonnière 75

5.2 Relations entre paramètres 76

5.3 Relations entre stations 76

5.3.1 Comparaison des groupements obtenus avec ceux d'autres études 77

5.3.2 Groupements par bassin hydrographique 79

5.3.3 Définition de zones homogènes pansaisonnières .. 80

5.3.4 Bilan sur la pollution et les sources de contamination en nutriments et en métaux 82

CONCLUSION 85

BIBLIOGRAPHIE 87

ANNEXES

1. Liste des stations échantillonnées dans le fleuve Saint-Laurent en 1983-1984 91

2. Codes NAQUADAT des paramètres mesurés dans le réseau de surveillance du fleuve Saint-Laurent en 1983-1984 99

3. Modes de préparation des contenants, et modes de préservation utilisés pour les échantillons récoltés dans le réseau de monitorage du fleuve Saint-Laurent 103

4. Statistiques sommaires saisonnières par paramètre 107

LISTE DES TABLEAUX

		Page
Tableau 1	Méthodes d'analyse et limites de détection des paramètres mesurés en 1983-1984	7
Tableau 2	Statistiques sommaires pour les paramètres mesurés en 1983-1984	18
Tableau 3	Résultats de l'analyse de variance saisonnière faite pour chaque paramètre	31
Tableau 4	Résumé des résultats de l'analyse de six des principaux paramètres mesurés dans le fleuve Saint-Laurent de 1977 à 1983, aux stations de neuf sections transversales	50
Tableau 5	Paramètres discriminants et grandes masses d'eau identifiés pour chaque saison à l'aide d'analyses discriminantes sur les groupes homogènes généraux	60

LISTE DES FIGURES

		Page
Figure 1	Stations de surveillance de la qualité de l'eau du fleuve Saint-Laurent (Cornwall-Québec, 1983-84)	4
Figure 2	Schéma des analyses statistiques réalisées sur les données	30
Figure 3	Matrice de corrélation de Spearman pour les principaux paramètres mesurés	36
Figure 4	Position des paramètres soumis à l'analyse en composantes principales dans l'espace formé par les deux premiers facteurs, pour différentes saisons	39
Figure 5	Distribution schématisée des stations d'échantillonnage ayant servi à la définition de zones homogènes dans le fleuve Saint-Laurent	43
Figure 6	Distribution des groupes homogènes de stations pour la conductivité d'après le modèle de El-Shaarawi et Shah (1978)	44
Figure 7	Distribution des groupes homogènes de stations pour la turbidité d'après le modèle de El-Shaarawi et Shah (1978)	46
Figure 8	Distribution des groupes homogènes de stations pour la couleur d'après le modèle de El-Shaarawi et Shah (1978)	48
Figure 9	Distribution spatiale des groupes homogènes généraux de stations définis par l'ensemble des paramètres durant le printemps	52
Figure 10	Distribution spatiale des groupes homogènes généraux de stations définis par l'ensemble des paramètres durant l'été	55
Figure 11	Distribution spatiale des groupes homogènes généraux de stations définis par l'ensemble des paramètres durant l'automne	57
Figure 12	Distribution spatiale des groupes homogènes de stations définis par les nutriments durant le printemps	63
Figure 13	Distribution spatiale des groupes homogènes de stations définis par les nutriments durant l'été	64

LISTE DES FIGURES (suite)

		Page
Figure 14	Distribution spatiale des groupes homogènes de stations définis par les nutriments durant l'automne	66
Figure 15	Distribution spatiale des groupes homogènes de stations définis par les métaux durant le printemps	69
Figure 16	Distribution spatiale des groupes homogènes de stations définis par les métaux durant l'été	71
Figure 17	Distribution spatiale des groupes homogènes de stations définis par les métaux durant l'automne	73
Figure 18	Distribution spatiale des neuf zones homogènes pan-saisonnières de qualité de l'eau du fleuve Saint-Laurent, à partir des groupes homogènes généraux des trois saisons	81

INTRODUCTION

Le réseau de surveillance de la qualité des eaux du fleuve Saint-Laurent est exploité par la Direction des eaux intérieures (DEI) depuis 1976. En partant du cadre général défini par la déclaration de la politique fédérale sur les eaux intérieures (Gouvernement du Canada, 1978), les objectifs de ce réseau ont été définis comme suit:

a) Identifier les problèmes de pollution:

- en détectant les zones affectées par la pollution (toxiques, éléments nutritifs);
- en évaluant les causes de pollution et en déterminant les restrictions possibles sur les utilisations du milieu aquatique.

b) Établir une information de base:

- en mesurant l'évolution à court terme (cycle hydrologique) et à long terme (tendance) de la qualité du milieu aquatique;
- en évaluant les apports de polluants dans l'océan.

c) Déterminer si les objectifs de qualité de l'eau sont atteints:

- en mesurant dans les secteurs critiques la qualité de l'eau;
- en analysant et comparant les mesures avec les objectifs de qualité définis pour les usages du milieu aquatique.

Bref, le réseau d'échantillonnage du fleuve Saint-Laurent est un réseau de surveillance de la qualité ambiante de l'eau douce à long terme.

Depuis 1976, la taille du réseau de surveillance s'est accrue pour atteindre 77 stations en 1983. Il a alors été décidé d'utiliser les données

récoltées en 1983 pour identifier des groupes de paramètres et des zones homogènes de qualité de l'eau et étudier leur saisonnalité, afin de pouvoir éventuellement optimiser le réseau quant au nombre de stations échantillonnées, aux paramètres mesurés et aux fréquences d'échantillonnage. Le but de ce rapport est donc d'identifier des ensembles de paramètres et des zones homogènes de qualité de l'eau du fleuve Saint-Laurent et de décrire leur variabilité saisonnière.

1.0 MÉTHODOLOGIE

1.1 Description des stations d'échantillonnage

Le réseau de monitorage de la qualité des eaux du fleuve Saint-Laurent s'étend de Cornwall (frontière Québec-Ontario) à l'île d'Orléans (estuaire). Il est normalement composé d'environ 45 stations. Pour l'année 1983-1984, ce nombre a été augmenté à 77 afin d'obtenir une couverture spatiale du fleuve plus raffinée et d'optimiser le réseau par la suite. La figure 1 présente la distribution géographique des stations tandis que leur localisation et leurs coordonnées sont décrites à l'annexe 1. Les stations ont été classées en trois types: 37 stations permanentes (déjà en opération), 27 stations satellites (augmentation de la couverture spatiale) et 10 stations pour des études spéciales.

La localisation des stations du réseau du fleuve Saint-Laurent a été faite en tenant compte d'une série de critères dont voici les principaux:

- surveillance des embouchures des principaux affluents du fleuve: les eaux en provenance de l'amont (stations de Cornwall), les eaux en provenance des rivières des Outaouais, Saint-Louis, Saint-Régis, Richelieu, L'Assomption et Saint-Maurice;
- surveillance de l'entrée et de la sortie des principaux tronçons du fleuve selon le rapport de Germain et Janson (1984): stations en amont et en aval du lac Saint-François, du lac Saint-Louis, du lac des Deux Montagnes, de l'archipel de Montréal, du lac Saint-Pierre et de la région de Québec-Portneuf;
- projet spécial sur la qualité des eaux de la région de l'Archipel de Montréal, en particulier la zone de l'émissaire du système d'assainissement des eaux de la CUM (entré en opération en juin 1984);

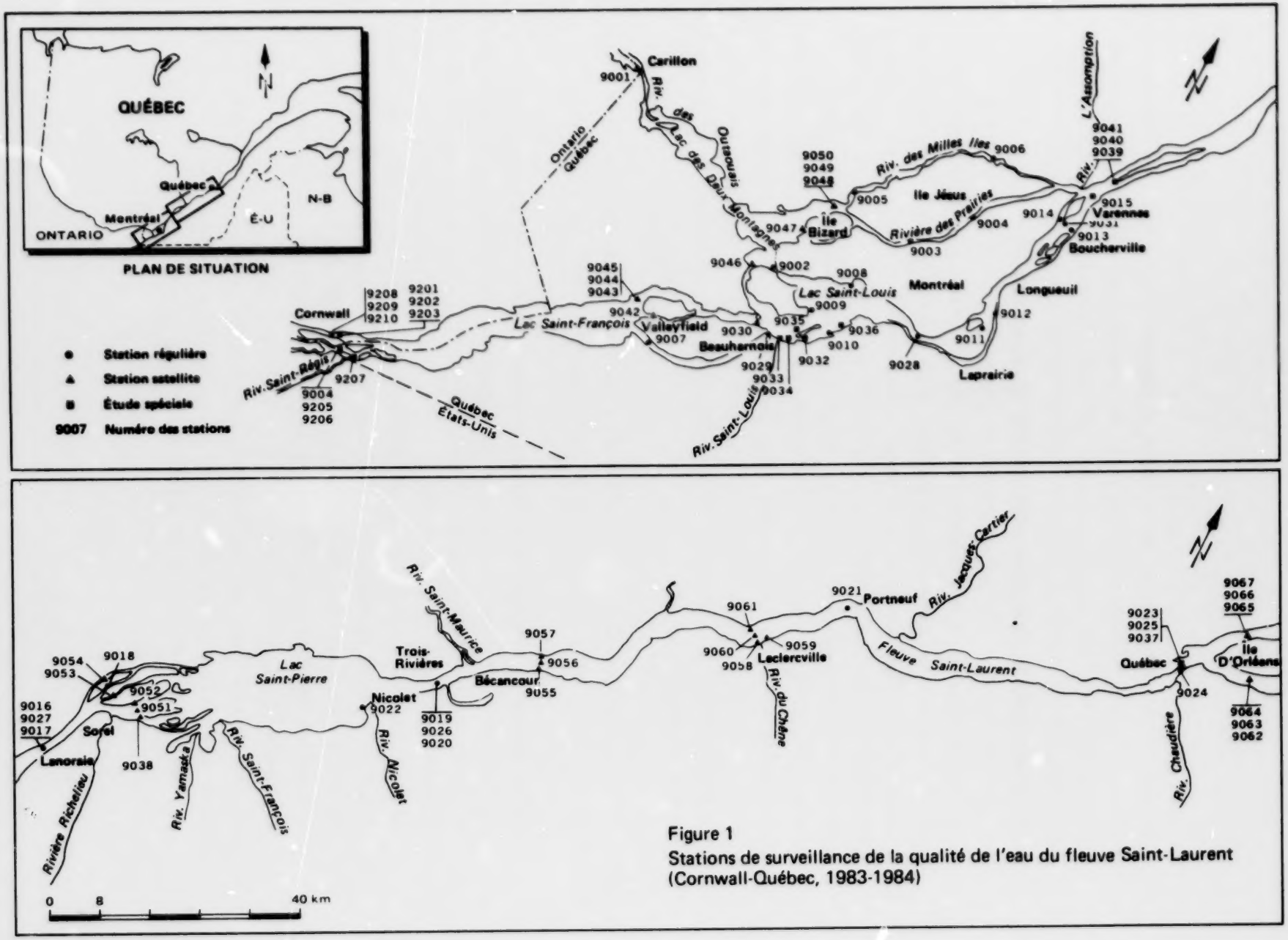


Figure 1
Stations de surveillance de la qualité de l'eau du fleuve Saint-Laurent
(Cornwall-Québec, 1983-1984)

- projet spécial sur les rejets industriels au sud du lac Saint-Louis;
- projet spécial sur les rejets industriels dans le delta de Sorel.

1.2 Paramètres mesurés et fréquence d'échantillonnage

Le réseau de monitorage de la qualité des eaux du fleuve Saint-Laurent est centré sur la composante eau de l'écosystème aquatique. En 1983-1984, un total de 113 paramètres, tels que définis dans la base de données NAQUADAT*, ont été mesurés. Ces paramètres ont été regroupés en 68 variables physico-chimiques différentes, soit des caractéristiques physiques, des ions principaux, des nutriments, des métaux, des pesticides et autres composés organiques. Les mêmes composés ont parfois été analysés pour diverses formes (totale, dissoute, particulaire). À cause des projets spéciaux, l'ensemble des variables mesurées n'est pas le même à toutes les stations. L'annexe 2 donne la liste des codes des paramètres mesurés.

En 1983-1984, les stations du réseau du fleuve ont toutes été échantillonnées au moins trois fois, sauf celles de l'île d'Orléans, échantillonnées deux fois seulement. La moitié des stations ont aussi été échantillonnées une fois en hiver, et les stations de la zone de l'émissaire de la CUM ont été échantillonnées onze fois. L'annexe 1 donne la fréquence d'échantillonnage pour chaque station du réseau.

---

* NAQUADAT: base nationale de données sur le milieu aquatique, centrée à Ottawa et exploitée par la Direction de la qualité des eaux d'Environnement Canada.

1.3 Matériel et méthodes d'échantillonnage, d'analyse et d'interprétation

Méthodes d'échantillonnage

Les échantillons d'eau ont été prélevés dans une série de bouteilles dont le volume et la composition, de même que le mode de préservation, variaient selon le composé analysé. L'annexe 3 décrit les contenants et leur préparation, et le mode de préservation utilisés pour les échantillons.

Les échantillons ont été récoltés au moyen d'un échantillonneur lesté, dans le cas des bouteilles de 1L, ou manuellement, dans le cas des petites bouteilles, à une profondeur variant de 30 cm à 1 m. Les agents de préservation, lorsque nécessaires, étaient placés à l'avance dans les bouteilles. Une fois récoltés, les échantillons étaient placés sur de la glace, à une température de 4°C, jusqu'à leur analyse en laboratoire. Le choix des contenants et des modes de préservation utilisés provient du guide d'échantillonnage de la qualité des eaux de la Direction de la qualité des eaux (1983).

Le moyen de transport utilisé pour la collecte des échantillons a été l'hélicoptère, ou une chaloupe de 5 m munie d'un moteur hors-bord. Afin d'assurer un contrôle de la qualité, certains échantillons ont été récoltés en double ou subdivisés avant leur analyse.

Méthodes d'analyse

Les échantillons ont été analysés en laboratoire à partir des méthodes décrites dans le Analytical Methods Manual (Env. Can., 1981). La température de l'eau, l'oxygène dissous, la conductivité et le pH ont été mesurés sur le terrain. Les méthodes d'analyse et la limite de détection pour chaque paramètre sont décrites dans le tableau 1. Les analyses des paramètres physiques, des ions principaux et des nutriments ont été faites au Laboratoire du Capitaine Bernier à Longueuil, tandis que les analyses des métaux et des

Tableau 1. Méthodes d'analyses et limites de détection des paramètres mesurés en 1983-1984

Paramètre	Méthode d'analyse	Précision	Limite de détection
Couleur apparente	Comparaison visuelle	1 unité Co Pt	1 unité
Conductivité spécifique	Électrométrique	1 uS/cm	1 uS/cm
Température de l'eau	Électrométrique	0,1°C	0°C
Turbidité	Comparaison visuelle	0,1 JTU	0 JTU
Carbone organique total	Calculé	0,1 mg/L	0,5 mg/L
Carbone organique dissous	Analyse à l'infrarouge	0,1 mg/L	0,5 mg/L
Phénols	Colorimétrie, spectrophotomètre	1 ug/L	1 ug/L
Cyanures totaux	EDTA	1 ug/L	1 ug/L
Carbone organique particulaire	Analyseur CHN	1 ug/L	5 ug/L
Azote Kjeldahl	Colorimétrie, autoanalyseur	10 ug/L	10 ug/L
Nitrites et nitrates	Colorimétrie, autoanalyseur	1 ug/L	5 ug/L
Ammoniaque	Colorimétrie, autoanalyseur	1 ug/L	1 ug/L
Alcalinité	Titrage potentiométrique à un pH de 4.2	0,1 mg/L	0,5 mg/L
pH (terrain)	Électrométrique	0,1 unité	0,1 unité
pH (laboratoire)	Électrométrique	0,1 unité	0,1 unité
Résidus non filtrables	Gravimétrie	1 mg/L	0,1 mg/L
Dureté	Calculé	1 mg/L	1 mg/L
Sodium	Absorption atomique avec aspiration directe	0,01 mg/L	0,23 mg/L
Magnésium	Absorption atomique avec aspiration directe	1 ug/L	1 ug/L
Phosphore	Colorimétrique, autoanalyseur	1 ug/L	2 ug/L
Sulfates	Colorimétrie au bleu de methylthymol	0,1 mg/L	0,2 mg//L
Chlorures	Colorimétrie à l'ammonium de sulfate ferreux	0,01 mg/L	0,05 mg/L
Hexachlorobenzène	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,001 ug/L
p,p'-DDT	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,001 ug/L
o,p'-DDT	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,001 ug/L
p,p'-TDE	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,001 ug/L
p,p'-DDE	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,001 ug/L
p,p'-Methoxychlore	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,001 ug/L
Heptachlore	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,001 ug/L
Epoxide d'heptachlore	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,001 ug/L
Alpha-endosulfan	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,001 ug/L
Beta-endosulfan	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,001 ug/L
Alpha (cis) chlordane	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,001 ug/L
Gamma (trans) chlordane	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,001 ug/L
Gamma BHC (lindane)	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,001 ug/L
Alpha BHC	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,001 ug/L
Mirex	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,004 ug/L
Aldrine	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,001 ug/L
Endrine	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,004 ug/L
HEOD (dieldrine)	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,004 ug/L
Arochlore (BPC)	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,009 ug/L
Potassium	Absorption atomique	0,1 mg/L	0,1 mg/L
Calcium	Absorption atomique	0,01 mg/L	0,05 mg/L

Tableau 1. Méthodes d'analyses et limites de détection des paramètres mesurés en 1983-1984

Paramètre	Méthode d'analyse	Précision	Limite de détection
Couleur apparente	Comparaison visuelle	1 unité Co Pt	1 unité
Conductivité spécifique	Électrométrique	1 uS/cm	1 uS/cm
Température de l'eau	Électrométrique	0,1°C	0°C
Turbidité	Comparaison visuelle	0,1 JTU	0 JTU
Carbone organique total	Calculé	0,1 mg/L	0,5 mg/L
Carbone organique dissous	Analyse à l'infrarouge	0,1 mg/L	0,5 mg/L
Phénols	Colorimétrie, spectrophotomètre	1 ug/L	1 ug/L
Cyanures totaux	EDTA	1 ug/L	1 ug/L
Carbone organique particulaire	Analyseur CHN	1 ug/L	5 ug/L
Azote Kjeldahl	Colorimétrie, autoanalyseur	10 ug/L	10 ug/L
Nitrites et nitrates	Colorimétrie, autoanalyseur	1 ug/L	5 ug/L
Ammoniaque	Colorimétrie, autoanalyseur	1 ug/L	1 ug/L
Alcalinité	Titrage potentiométrique à un pH de 4.2	0,1 mg/L	0,5 mg/L
pH (terrain)	Électrométrique	0,1 unité	0,1 unité
pH (laboratoire)	Électrométrique	0,1 unité	0,1 unité
Résidus non filtrables	Gravimétrie	1 mg/L	0,1 mg/L
Dureté	Calculé	1 mg/L	1 mg/L
Sodium	Absorption atomique avec aspiration directe	0,01 mg/L	0,23 mg/L
Magnésium	Absorption atomique avec aspiration directe	1 ug/L	1 ug/L
Phosphore	Colorimétrique, autoanalyseur	1 ug/L	2 ug/L
Sulfates	Colorimétrie au bleu de methylthymol	0,1 mg/L	0,2 mg//L
Chlorures	Colorimétrie à l'ammonium de sulfate ferreux	0,01 mg/L	0,05 mg/L
Hexachlorobenzène	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,001 ug/L
p,p'-DDT	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,001 ug/L
o,p'-DDT	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,001 ug/L
p,p'-TDE	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,001 ug/L
p,p'-DDE	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,001 ug/L
p,p'-Methoxychlore	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,001 ug/L
Heptachlore	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,001 ug/L
Epoxide d'heptachlore	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,001 ug/L
Alpha-endosulfan	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,001 ug/L
Beta-endosulfan	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,001 ug/L
Alpha(cis)chlordane	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,001 ug/L
Gamma(trans)chlordane	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,001 ug/L
Gamma BHC (lindane)	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,001 ug/L
Alpha BHC	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,001 ug/L
Mirex	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,004 ug/L
Aldrine	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,001 ug/L
Endrine	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,004 ug/L
HEOD (dieldrine)	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,004 ug/L
Arochlore (BPC)	Chromatographie en phase gazeuse	0,001 ug/L	0,009 ug/L
Potassium	Absorption atomique	0,1 mg/L	0,1 mg/L
Calcium	Absorption atomique	0,01 mg/L	0,05 mg/L

composés organiques ont été réalisées au Laboratoire national de la qualité de l'eau à Burlington (Ontario).

Méthodes d'interprétation

Les données originales de qualité de l'eau ont été tirées de la base de données NAQUADAT à l'aide de la procédure interactive JOBSUB (Whitlow et Lamb, 1983). Les statistiques sommaires, les corrélations et les analyses de variance ont été calculées à l'aide du logiciel SPSS, version 8.0 (Nie et al., 1975), sur ordinateur CYBER à Ottawa (Désilets, 1985). Les analyses discriminantes ont été calculées à l'aide de la version PC 2.0 du même logiciel au moyen d'un ordinateur PC à Montréal. Les régressions saisonnières ont été calculées à l'aide d'un programme en FORTRAN IV développé par El-Shaarawi et Shah (1978) et utilisé sur l'ordinateur CYBER à Ottawa. Les analyses en composantes principales et les classifications ascendantes hiérarchiques ont été calculées à l'aide du progiciel "R" (Legendre et Vaudor, 1983) sur l'ordinateur CYBER de l'Université de Montréal.

2.0 VALIDATION DES DONNÉES

Ce chapitre décrit comment les données brutes ont été vérifiées puis standardisées avant leur analyse statistique.

2.1 Contrôle de la qualité

Le contrôle de la qualité des données s'est fait à trois niveaux:

1. vérification des erreurs de transcription;
2. vérification de la cohérence des données entre elles;
3. comparaison des données avec les valeurs historiques.

2.1.1 Erreurs de transcription

Ce type de vérification sert à éliminer les erreurs de codification, de dates, et de transcription des données. Pour ce faire, on a comparé les cartes d'entrée des données avec les cahiers de terrain et de laboratoire puis avec un imprimé des données stockées sous une forme provisoire dans NAQUADAT.

2.1.2 Cohérence des données entre elles

On a d'abord calculé le bilan ionique pour déceler des valeurs anormalement élevées de certains cations ou anions qui débalanceraient le bilan qui est théoriquement égal à zéro. À Longueuil, un bilan légèrement négatif est le plus fréquent. Un écart maximal relatif de 12,5% était toléré. Sur 121 séries complètes d'analyses pour les ions principaux, aucune n'a présenté un bilan trop élevé et deux bilans seulement atteignaient un écart de 5%.

Dans un deuxième temps, une vérification mathématique de certains paramètres a été effectuée. La conductivité a été reconstituée par la formule suivante:

$$\text{conductivité} = 2{,}98\ Ca + 4{,}35\ Mg + 2{,}21\ Na + 1{,}88\ K + 0{,}73\ alc. + 1{,}67\ SO_4 + 2{,}15\ Cl.$$ (Bobée et al., 1982)

La comparaison entre les conductivités réelle et reconstituée a mis en évidence quelques résultats douteux vérifiés par la suite. On a également comparé les formes des composés entre elles pour vérifier leur cohérence. Ainsi, on a vérifié que les concentrations mesurées sous la forme totale étaient toujours plus grandes que celles sous la forme dissoute, extractible ou particulaire. La forme totale devait évidemment équivaloir à la forme dissoute plus la forme particulaire.

Afin de pouvoir vérifier la fiabilité des analyses, certains échantillons ont été subdivisés et analysés au moins deux fois. La médiane des valeurs mesurées était alors retenue pour être saisie dans NAQUADAT. Les échantillons subdivisés étaient spécifiés dans la base de données pour les paramètres physiques, les ions principaux et les nutriments, c'est-à-dire les paramètres mesurés au laboratoire de Longueuil. Nous observons que de 9 à 20% des résultats, selon les paramètres, sont des analyses répétées. Dans le cas des données sur les coliformes et les streptocoques, tous les résultats sont des médianes de trois valeurs mesurées, puisque la méthode d'analyse l'exige. Dans le cas des données sur le phosphore total, aucun échantillon n'a été subdivisé.

2.1.3 Comparaison avec des données historiques

Nous avons pu comparer les valeurs mesurées dans cette étude avec des données historiques pour les stations 9001 à 9037 et 9201 à 9210 (Données de 1950 à 1980, tirées de Janson et Sloterdijk, 1982). La comparaison des

données saisonnières a permis d'identifier quelques valeurs écartées qui ont été vérifiées par la suite.

2.2 Préparation des données pour l'analyse statistique

La préparation des données s'est faite en deux étapes. Nous avons d'abord combiné ou éliminé des paramètres en vue du calcul de statistiques sommaires. Par la suite nous avons sélectionné un ensemble de paramètres pour lesquels les données se prêtaient à une analyse statistique multivariée.

2.2.1 Préparation des données pour l'analyse statistique sommaire

L'ensemble original des données, imprimé dans un rapport détaillé de la base de données NAQUADAT, comprenait 113 codes de paramètres. Nous avons d'abord cherché à réduire le nombre de codes en éliminant les paramètres pour lesquels on retrouvait trop peu de données pour faire une analyse statistique. Ce fut le cas de la conductivité spécifique mesurée à la température ambiante, du carbone organique total non calculé, du carbone organique particulaire et de l'oxygène dissous. Nous avons également éliminé à cette étape certaines données douteuses, telles les résultats pour le chrome où il y a eu contamination, et les données inutiles pour l'analyse statistique, soit la somme des cations, celle des anions et le bilan ionique.

Nous avons combiné par la suite les mesures prises sur le terrain et celles prises en laboratoire pour la conductivité et le pH, la validation des données ayant démontré que ces formes étaient équivalentes. Dans le cas des métaux, nous avons regroupé les multiples codes d'analyse utilisés en un seul code, dans tous les cas où une méthode était utilisée pour les concentrations élevées, et une autre pour les basses. Ce fut le cas pour le fer, le cuivre et le zinc. Lorsque la combinaison des données amenait deux mesures d'un même paramètre à une même date, seule la moyenne des deux valeurs était retenue.

En dernier lieu, nous avons exclu de l'analyse les paramètres où toutes les valeurs étaient sous le seuil de détection. C'était le cas de la plupart des composés organiques. Finalement, un ensemble de 38 paramètres ont été retenus pour des analyses statistiques sommaires et leurs données ont été regroupées dans la matrice I.

2.2.2 Préparation des données pour l'analyse statistique multivariée

Les analyses statistiques poussées requièrent une matrice compacte de données, c'est-à-dire composée d'une donnée pour chaque paramètre à chaque événement, à toutes les stations. Pour ce faire, on regroupe les données de façon à minimiser le nombre de valeurs manquantes.

La section précédente portait sur les moyens utilisés pour faire du regroupement par paramètre. Pour obtenir une matrice compacte, nous avons aussi fait un regroupement par événement. Comme on disposait en moyenne de quatre tournées par station, les données ont d'abord été regroupées en quatre saisons, à raison d'une valeur par paramètre et par station pour chaque saison. Les saisons ont été définies à partir de la courbe annuelle historique de débit du fleuve de la façon suivante:

1) printemps : mois d'avril et de mai
2) été : mois de juin à septembre
3) automne : mois d'octobre et de novembre
4) hiver : mois de décembre à mars

Pour les stations qui avaient été échantillonnées plus de quatre fois (ex. projet de l'émissaire de la CUM), nous avons retenu la médiane des valeurs pour chaque saison.

Nous avons ensuite éliminé les paramètres qui n'avaient pas été mesurés systématiquement à chaque station, à l'exception de la couleur

apparente, de l'alcalinité, des sulfates et du calcium. Pour ces derniers, nous disposions de données pour la moitié des stations seulement, car les valeurs de ces paramètres sont assez constantes d'une année à l'autre et ne sont mesurées que pour une période limitée à chaque nouvelle station. Nous avons donc complété la série de données en utilisant les médianes saisonnières historiques. Nous avons aussi éliminé tous les paramètres dont les valeurs présentaient une variance très faible, c'est-à-dire les paramètres dont presque toutes les valeurs se situaient sous ou au seuil de détection. Les composés organiques dans l'eau, de même que le cadmium, ont ainsi été éliminés.

Cette série de standardisations a mené à la création de quatre matrices de données utilisées pour les analyses statistiques multivariées. Trois d'entre elles correspondent aux saisons du printemps, de l'été et de l'automne, la quatrième étant la combinaison des trois autres. La matrice de l'hiver n'a pas été retenue car on ne disposait de données que pour la moitié des stations. Un ensemble de 19 paramètres ont été retenus dans ces matrices regroupées sous le nom de matrice II.

3.0 DESCRIPTION DES RÉSULTATS

Dans ce chapitre nous allons décrire à l'aide de statistiques sommaires les résultats retenus suite à la validation des données (section 2.1). Nous allons examiner l'étendue, la dispersion et la normalité de ces résultats. Le tableau 2 présente le nombre de données, le minimum et le maximum, la moyenne et la médiane, et le pourcentage de résultats au-dessus du seuil de détection pour chaque paramètre. On a également utilisé d'autres indices statistiques qui ne figurent pas au tableau, soit la variance, le coefficient de variation, les coefficients d'aplatissement et d'asymétrie, et le mode, de même que des histogrammes, pour déterminer si la distribution des résultats était normale. Comme les données de certains paramètres ne suivaient pas une distribution normale, la médiane plutôt que la moyenne a été utilisée pour commenter les résultats. Enfin, lorsque des recommandations nationales existent pour la protection de la vie aquatique ou l'eau potable, les résultats y sont comparés.

3.1 Caractéristiques physiques

La **couleur apparente** montre une grande variabilité dans les eaux du fleuve. La plus petite valeur mesurée a été de 1 unité Pt-Co, au centre de la voie navigable à Pointe-aux-Trembles, et le maximum enregistré a été de 944, mesuré aux stations de Repentigny, Leclercville (sud) et à l'embouchure de la rivière Saint-Louis. La médiane des résultats est de 43, ce qui représente une eau légèrement colorée. Les données ne suivent pas une distribution normale.

La **conductivité** varie de 54 uS/cm, près de Repentigny à 621 uS/cm, à l'embouchure de la rivière Saint-Louis. La médiane des valeurs, 265 uS/cm, représente une eau bien minéralisée. Les données de conductivité suivent une distribution normale.

Tableau 2. Statistiques sommaires pour les paramètres mesurés en 1983-1984

Paramètres*	Unités	Minimum	Maximum	Médiane	Moyenne	% détection	N
Couleur apparente	PtCo	1	944	43	81,3	100	159
Conductivité spécifique	uS/cm	54	621	265	237,3	100	296
Température	°C	0,0	25,0	14,0	14,0	100	272
Turbidité	UTJ	0,4	84,0	3,5	6,7	100	293
Résidus non filtrés	mg/L	P 1,0	198,5	4,7	10,6	98,6	293
Alcalinité ($CaCO_3$)	mg/L	7,9	97,2	74,2	69,4	100	160
Dureté calc. ($CaCO_3$)	mg/L	14,1	133,3	105,2	88,9	100	153
Calcium dissous	mg/L	4,0	40,7	30,8	26,1	100	153
Magnésium dissous	mg/L	1,0	8,6	6,6	5,7	100	160
pH	unités	6,2	8,7	7,7	7,6	100	297
Potassium dissous	mg/L	0,5	3,2	1,2	1,3	100	160
Sodium dissous	mg/L	1,9	77,6	10,6	10,0	100	160
Chlorures dissous	mg/L	2,4	113,5	21,5	18,7	100	160
Sulfates dissous	mg/L	7,2	34,2	24,8	22,3	100	160
Carb. org. tot. calc.	mg/L	1,9	21,6	9,1	8,9	100	227
Carb. org. diss.	mg/L	1,9	21,6	9,0	8,8	100	229
Carb. org. partic.	mg/L	0,030	0,310	0,075	0,088	100	228
Phosphore total	mg/L	P 0,001	0,403	0,026	0,039	97,6	291
Azote total Kjeldahl (N)	mg/L	0,130	4,09	0,252	0,296	100	273
Ammoniaque (N)	mg/L	P 0,001	0,220	0,030	0,041	83,3	66
Nitrites et nitrates (N)	mg/L	P 0,005	2,35	0,172	0,215	99,6	294
Phénols	mg/L	P 0,001	0,008	0,001	0,001	16,7	42
Cyanures totaux	mg/L	0,001	0,370	0,006	0,033	100	42
Manganèse total	ug/L	P 10,0	170,0	P 10,0	P 10,0	35,0	246
Fer total	ug/L	12	7 550	330	574	100	246
Cuivre total	ug/L	P 1	64	2	2	90,6	256
Zinc total	ug/L	P 1	130	4	8	96,1	255
Nickel total	ug/L	P 1	11	1	2	80,9	246
Plomb total	ug/L	P 1	14	P 1	1	46,5	256
Cadmium total	ug/L	P 1	1	P 1	P 1	0,6	256
Mercure total	ug/L	P 0,02	0,60	P 0,02	0,04	24,7	93
Lindane	ng/L	P 1	7	1	P 1	50,8	118
Alpha BHC	ng/L	P 1	20	5	5	90,0	118
Dieldrine (HEOD)	ng/L	P 4	9	P 4	P 4	1,7	118
Arochlor (BPC)	ng/L	P 9	38	P 9	P 9	10,2	118
Coliformes totaux	colonies	240	63 000	6 000	9 576	100	63
Coliformes fécaux	colonies	0	12 000	1 140	1 797	89,5	57
Streptocoques fécaux	colonies	10	1 060	130	194	100	62

P: plus petit que.

* Plusieurs composés organochlorés n'ont pas été détectés dans les échantillons analysés. Ce sont l'hexachlorobenzène, le p,p'-DDT, le p,p'-TDE, le p,p'-DDE, le méthoxychlore, l'heptachlore, l'epoxide d'heptachlore, l'alpha-endosulfan, le beta-endosulfan, l'alpha(cis)chlordane, le gamma(trans)chlordane, le mirex, l'aldrine et l'endrine.

La **température** varie de 0,0 telle que mesurée à quelques stations en hiver, à 25,0, mesuré à l'embouchure de la rivière Saint-Régis à la fin de juillet. La distribution des valeurs est normale.

La **turbidité** varie de 0,4 unité Jackson, mesuré à trois stations près de Valleyfield, à 84, mesuré près de Repentigny. La valeur médiane est cependant peu élevée, à 3,5. Les données suivent une distribution normale.

Les **résidus** non filtrés totaux, ou **solides en suspension**, montrent des valeurs s'échelonnant de la non-détection, à Valleyfield et aux stations du sud du lac Saint-Louis, jusqu'à un maximum de 198,5 mg/L mesuré au quai de Leclercville. La médiane est relativement faible, à 4,7. La distribution des valeurs n'est pas normale.

3.2 Ions principaux

L'**alcalinité**, la **dureté**, le **calcium** et le **magnésium** sont de proches parents et leurs valeurs montrent un même comportement, avec un minimum mesuré en aval de l'embouchure de la Saint-Maurice, et un maximum mesuré près de Valleyfield, à la sortie du lac Saint-François. La distribution des données est normale.

Le **pH** varie de 6,2 à l'est du lac des Deux Montagnes, à 8,6 à l'embouchure de la rivière Saint-Louis. Comme les unités de pH sont logarithmiques, cela représente une variation de la concentration des ions H+ de plus de cent fois. La médiane des valeurs de pH est de 7,6, ce qui représente une eau tamponnée, légèrement basique. Les valeurs suivent une distribution normale.

Pour le **potassium**, on a mesuré un minimum de 0,5 mg/L en aval de Trois-Rivières et dans le lac des Deux Montagnes. Le maximum de 3,2 mg/L a été mesuré près du quai de Leclercville. La valeur médiane est de 1,2 mg/L, ce qui est faible. La distribution des résultats suit une courbe normale.

Le **sodium** montre un minimum de 1,9 mg/L enregistré près de Portneuf. Le maximum de 77,6 a été mesuré près du quai de Bécancour, ce qui est très élevé. La médiane des valeurs est de 10,6. Cette valeur se rapproche de celles retrouvées dans l'eau des Grands Lacs, comme à Valleyfield (12,0 mg/L). La distribution des données n'est pas normale.

Les **chlorures** montrent une valeur minimale de 2,4 mg/L enregistrée à l'embouchure de la rivière des Outaouais et dans le lac des Deux Montagnes, et un maximum de 113,5 mg/L mesuré près du quai de Bécancour. Cette valeur très élevée s'explique par la présence d'un dépôt de sel sur le quai, qui contaminerait localement l'eau en chlorures et en sodium. La valeur médiane est de 21,5 mg/L et la distribution des données n'est pas normale.

Les **sulfates** varient de 7,2 mg/L, mesuré près de la rive nord à Leclercville, à un maximum de 34,2 mg/L mesuré près de Boucherville et au nord de l'île d'Orléans. Leur valeur médiane est de 24,8, ce qui se rapproche des valeurs mesurées dans l'eau en provenance des Grands Lacs (ex. 26 mg/L à Valleyfield). La distribution des données est normale.

3.3 Nutriments

Le **carbone organique total** calculé et le **carbone organique dissous** présentent les mêmes minimum, maximum, moyenne et médiane à 0,1 mg près. La valeur minimale enregistrée a été de 1,9 mg/L au centre de la voie navigable près de Boucherville et le maximum de 21,6 a été mesuré juste à côté, près de la rive sud. La médiane des valeurs est de 9,0 et les résultats suivent une distribution normale.

Le **carbone organique particulaire** est un paramètre très variable dont les valeurs s'échelonnent de 0,030 mg/L aux stations de Valleyfield et Beauharnois et du sud du lac Saint-Louis, jusqu'à une valeur maximale de 0,310 mg/L mesurée dans le lac Saint-Pierre près de Nicolet. La valeur

médiane est de 0,075 mg/L et la distribution des résultats ne suit pas une courbe normale.

Le **phosphore total** montre aussi une grande variabilité. Les valeurs vont de moins de 0,001 mg/L mesuré à Cornwall, Valleyfield, au sud du lac Saint-Louis et à Nicolet jusqu'à un maximum de 0,403 mg/L mesuré au nord de Leclercville. La médiane de 0,026 mg/L correspond à la ligne directrice de l'USEPA pour la protection de la vie aquatique (McNeely et al., 1980). La distribution des résultats n'est pas normale.

L'**azote total Kjeldahl** montre également une grande variabilité. La valeur minimale de 0,130 mg/L a été mesurée dans la voie maritime juste en amont de l'émissaire de la CUM et le maximum de 4,09 mg/L, juste en aval du même émissaire qui n'était pas encore opérationnel à cette date. La médiane des valeurs est de 0,252 mg/L. La distribution des résultats n'est pas normale.

L'**azote ammoniacal** n'a été mesuré qu'aux sept stations du projet de l'émissaire de la CUM. Les valeurs varient de la non-détection à un maximum de 0,220 mg/L mesuré en aval de Repentigny, dans la zone d'influence de la rivière L'Assomption et des égouts de Repentigny (Lamarche et Vallières, 1984). Cette valeur est près de la recommandation pour la protection de la vie aquatique, qui est de 230 ug/L pour une température de 25°C, et un pH de 8,5 (CCMRE, 1987). La distribution des résultats n'est pas normale.

Les **nitrites et nitrates**, des composés intermédiaires très instables, montrent une grande variabilité, allant de la non-détection à deux stations au sud du lac Saint-Louis jusqu'à un maximum de 2,35 mg/L mesuré à l'embouchure de la rivière Saint-Louis, en aval d'un complexe industriel chimique et métallurgique. La médiane est de 0,172 mg/L. Les recommandations pour l'eau de consommation sont respectivement de 1,0 mg/L pour les nitrites et de 10 mg/L pour les nitrates (CCMREE, 1987). La distribution des données n'est pas normale.

Les **phénols** n'ont été analysés qu'aux sept stations de l'émissaire de la CUM. Les valeurs sont basses, allant de la non-détection dans la majorité des cas jusqu'à un maximum de 0,008 mg/L mesuré près de Boucherville. Cette concentration ne nuit pas à la vie aquatique, mais donne à l'eau potable un goût désagréable (CCMRE, 1987). La distribution des données n'est pas normale.

Les **cyanures** n'ont été analysés qu'aux sept stations de l'émissaire de la CUM. Les valeurs s'échelonnent de la non-détection à quelques stations, à un maximum de 0,370 mesuré juste en aval du futur émissaire de la CUM. Cette dernière valeur représente plus de 70 fois les lignes directrices proposées pour la protection du milieu aquatique, soit 0,005 mg/L et deux fois celle pour l'eau potable, de 0,2 mg/L (CCMRE, 1987). La médiane des valeurs est de 0,006 mg/L. La distribution des résultats n'est pas normale.

3.4 Métaux

Le **manganèse** est un métal non toxique utilisé comme micro-nutriment par les organismes vivants. Ses concentrations sont habituellement basses. Dans cette étude, nous avons mesuré des concentrations allant de la non-détection à plusieurs stations, jusqu'à un maximum de 170,0 ug/L près du quai de Leclercville. La médiane des valeurs est de 10,6 ug/L.

Le **fer** est le métal naturellement le plus abondant dans le milieu aquatique. Il est aussi très utilisé dans l'industrie. Les valeurs montrent une grande variabilité, allant de 12 ug/L, dans le lac des Deux Montagnes, à 7 550 ug/L, mesuré près de Leclercville, avec une médiane de 330 ug/L, ce qui correspond à la recommandation pour la protection de la vie aquatique, qui est de 300 ug/L (CCMRE, 1987). Les relations entre paramètres indiquent toutefois qu'une grande partie du fer est associée aux solides en suspension (section 4.2.1).

Le **cuivre** est un autre métal naturellement présent dans le milieu aquatique, mais aussi très utilisé dans l'industrie et la plomberie. L'organisme humain l'utilise comme micro-nutriment et excrète les excès. Les valeurs vont de la non-détection à quelques stations, jusqu'à un maximum de 64 ug/L mesuré dans la rivière des Prairies. La médiane est de 2 ug/L, tout près du seuil de détection, et la recommandation pour la protection du milieu aquatique est de 4 ug/L (CCMRE, 1987). Comme pour le fer, presque tout le cuivre est associé aux solides en suspension.

Le **zinc** est naturellement présent dans le milieu aquatique à de basses concentrations, mais il est aussi très utilisé dans l'industrie (McNeely et al., 1980). Il est considéré comme modérément toxique et utilisé comme micro-nutriment par les animaux. Les concentrations mesurées vont de la non-détection à quelques stations jusqu'à un maximum de 130 ug/L mesuré dans les îles de Sorel. La médiane est de 4 ug/L, près du seuil de détection. La recommandation pour la protection de la vie aquatique est de 30 ug/L (CCMRE, 1987).

Le **nickel** est un métal toxique naturellement peu abondant dans l'eau, mais utilisé dans l'industrie du placage et dégagé par les combustibles fossibles (McNeely et al., 1980). Les valeurs mesurées dans le fleuve vont de la non-détection à la majorité des stations, à un maximum de 11 ug/L mesuré au quai de Leclercville. La ligne directrice recommandée est de 25 ug/L pour la protection de la vie aquatique (CCMRE, 1987).

Le **plomb** est un métal toxique provenant surtout d'activités humaines, soit la fabrication de batteries et l'essence pour automobiles. Il est peu abondant dans les eaux du fleuve, retrouvé le plus souvent à des concentrations sous le seuil de détection, avec un maximum de 14 ug/L mesuré près de Cornwall, en aval d'un émissaire d'eau usée d'origine industrielle (Lamarche et Vallières, 1984). La recommandation pour la protection du milieu aquatique est de 12 ug/L (CCMRE, 1987). Mis à part Cornwall, on retrouve quelques résultats au-dessus de cette recommandation dans les îles de Sorel, à Leclercville et à l'île d'Orléans.

Le **cadmium** est un métal très toxique, naturellement présent dans le milieu aquatique à l'état de traces seulement. Il est utilisé comme catalyseur en métallurgie et on le retrouve également dans les résidus miniers (McNeely et al., 1980). Les concentrations mesurées dans cette étude n'ont pas dépassé le seuil de détection, soit 1,0 ug/L, atteint une fois à la station de Carillon.

Le **mercure** est un métalloïde toxique qui est présent naturellement dans la roche du nord-ouest du Québec et est utilisé dans l'industrie du chlore-alcali, de la peinture et dans le secteur hospitalier. Les concentrations mesurées dans l'eau du fleuve vont de la non-détection à la majorité des stations à un maximum de 0,60 ug/L mesuré à l'embouchure de la rivière Saint-Louis, en aval d'un secteur industriel où on retrouve une usine de chlore-alcali (Lamarche et Vallières, 1984). Cette valeur est d'ailleurs la même que celle mesurée par Carignan et Alves (1978) dans une étude des contaminants présents dans la rivière et dépasse la recommandation pour la protection de la vie aquatique, de 0,1 ug/L, tandis que celle pour l'eau potable est de 1 ug/L (CCMRE, 1987).

Mentionnons finalement que la distribution des données de tous les métaux étudiés n'est pas normale.

3.5 Pesticides

Les pesticides n'ont été mesurés qu'à 27 stations dans cette étude. Sur les 19 pesticides analysés, seulement quatre ont montré des valeurs plus élevées que le seuil de détection. Cela est dû à ce que la majorité des pesticides sont à peu près insolubles dans l'eau. Rappelons que les valeurs mesurées sont très imprécises quand elles sont près de la limite de détection. La distribution des données n'est pas normale.

Le **lindane** comporte une majorité de résultats au-dessus du seuil de détection de 1 ng/L, avec une médiane égale au seuil et un maximum de 7 ng/L mesuré juste en aval de l'émissaire de la CUM.

L'**alpha-BHC** dépasse couramment le seuil de détection, avec un maximum de 20 ng/L mesuré dans le fleuve en aval de Repentigny. La médiane des valeurs est de 5 ng/L. La recommandation pour l'ensemble des isomères de l'hexachlorocyclohexane pour la protection du milieu aquatique est de 10 ng/L; celle pour l'eau potable est de 4 ug/L (CCMRE, 1987). Il est donc possible que les organismes de certains secteurs du fleuve soient affectés à long terme par ce pesticide, mais le risque est négligeable pour la qualité de l'eau de consommation.

La **dieldrine** montre des résultats majoritairement sous le seuil de détection, avec un maximum de 9 ng/L mesuré en aval de Repentigny. La recommandation pour la protection de la vie aquatique est de 4 ng/L (CCMRE, 1987) et le seuil de détection est de 4 ng/L.

Les **BPC** montrent eux aussi des résultats habituellement sous le seuil de détection, avec un maximum de 38 ng/L mesuré près de Pointe-aux-Trembles. La recommandation pour ce paramètre est de 1 ng/L dans le cas de la protection de la vie aquatique (CCMRE, 1987), alors que le seuil de détection est de 9 ng/L.

3.6 Microorganismes pathogènes

Les effluents des réseaux d'égouts sanitaires contiennent certaines bactéries de courte durée de vie mais qui peuvent occasionner des troubles digestifs et d'autres maladies. Les coliformes fécaux, les coliformes totaux et les streptocoques sont utilisés comme indicateurs de ces bactéries. On a fait des cultures de 24 et 48 heures à partir des échantillons prélevés dans le cadre du projet sur l'émissaire de la CUM avant qu'il n'entre en opération.

Typiquement, les nombres de bactéries obtenus dans les cultures montrent une grande variabilité. Pour les **coliformes totaux**, ce nombre a varié de 240 près de Boucherville à 63 000 en aval des égouts de Repentigny et de l'embouchure de la rivière L'Assomption. Santé et Bien-Être Canada (1979) considère qu'une eau de consommation demande à être chlorée dès que le nombre de bactéries dépasse 500. La médiane des valeurs dans la zone de l'émissaire était de 6 000 coliformes.

Les **coliformes fécaux** jouent le même rôle que les coliformes totaux mais sont un meilleur indice de pollution par des excréments humains ou animaux. Les valeurs mesurées dans la région de l'émissaire s'échelonnaient de la non-détection à un maximum de 12 000 bactéries, encore mesuré en aval de Repentigny. La médiane des valeurs est de 1 140 alors que Santé et Bien-Être Canada (1979, 1983) recommande le traitement complet d'une eau dépassant les 100 bactéries dans un échantillon d'eau potable et une moyenne géométrique maximale de 200 bactéries/100 ml dans les eaux de baignade.

Les **streptocoques** sont des indicateurs de bactéries pathogènes résistantes et de la possibilité de présence de virus. Comme pour les autres indicateurs, un nombre minimal de 0 bactérie a été mesuré près de Boucherville et un maximum de 1 060 bactéries a été mesuré en aval de Repentigny. La médiane est de 130 bactéries, alors que l'eau potable devrait n'en contenir aucune.

Il semble donc qu'avant que l'émissaire de la CUM n'entre en opération et ne déverse dans le fleuve une quantité appréciable de microorganismes pathogènes, que les populations bactériennes les plus élevées dans ce secteur étaient retrouvées dans les eaux en provenance de la rivière L'Assomption, affectées par les activités agricoles et les égouts de Repentigny. Ce portrait se rapproche de ceux présentés par Valiquette et Croteau (1983) et Gouin et Malo (1977).

3.7 Bilan

La description sommaire des données du réseau de surveillance du fleuve Saint-Laurent pour 1983-1984 a fait ressortir certaines stations qui se distinguent par leurs caractéristiques extrêmes. Cette information permet de dégager un portrait grossier des zones physico-chimiques dans le fleuve, de l'amont vers l'aval.

D'abord, les stations de la région de Cornwall se distinguent par des concentrations minimales en phosphore total. On y a mesuré le maximum des concentrations en plomb en aval d'un émissaire industriel. La station à l'embouchure de la rivière Saint-Régis est différente des stations dans le fleuve.

Les environs de Valleyfield sont caractérisés par une eau très dure, d'où des valeurs maximales pour l'alcalinité, le calcium et le magnésium. Les basses valeurs de turbidité, de solides en suspension, de carbone organique particulaire et de phosphore sont dues à ce que les stations sont situées à l'extrémité d'un lac, où la plupart des matières en suspension ont pu précipiter en eaux calmes. La dureté de l'eau favorise aussi ce processus.

La qualité des eaux de la rivière des Outaouais se reflète dans celle du lac des Deux Montagnes où les eaux sont peu minéralisées, avec un pH et des concentrations de potassium et de chlorures minimales.

La rivière Saint-Louis est caractérisée par une pollution élevée d'origine industrielle, d'où les maxima enregistrés pour la couleur, la conductivité, le pH, les nitrates et nitrites et le mercure. La partie sud du lac Saint-Louis en est affectée et contraste avec la partie est où on retrouve des minima enregistrés pour les solides en suspension, le carbone organique particulaire, le phosphore total et les nitrates et nitrites.

L'île de Montréal ne présente aucune caractéristique extrême. Par contre la zone de l'émissaire de la CUM est marquée par de forts contrastes.

La station située dans la voie maritime en amont de l'émissaire reflète une eau pauvre en nutriments où on a mesuré des minima pour le carbone organique total et dissous, l'azote Kjeldahl et la couleur. Au sud de cette station, celle près de Boucherville est très riche en matière organique avec des maxima pour les sulfates, le carbone organique total et dissous et des minima pour les bactéries coliformes et streptocoques. En aval du futur émissaire, on mesure des maxima pour l'azote Kjeldahl, les cyanures et le lindane. C'est toutefois près de Repentigny qu'on retrouve les eaux les plus dégradées. L'influence de la rivière L'Assomption et des rejets d'égout de Repentigny s'y font sentir avec une conductivité très basse couplée à des maxima enregistrés pour la couleur, la turbidité, l'ammoniaque, les bactéries coliformes, les streptocoques, la dieldrine et l'alpha-BHC.

Rien ne ressort de la région de Sorel et du lac Saint-Pierre, si ce n'est le maximum en carbone organique particulaire et le minimum en phosphore total dissous enregistrés au quai de Nicolet, dans une zone peu profonde, riche en herbiers et sous l'influence possible de la rivière Saint-François.

Dans la région de Trois-Rivières, la station en aval de la ville et de l'embouchure de la Saint-Maurice se distingue par sa très faible minéralisation avec les minima mesurés pour l'alcalinité, la dureté, le calcium, le magnésium et le potassium.

Toujours plus en aval dans le fleuve, la section transversale à la hauteur de Leclercville, au début de la zone de mélange des eaux par les marées, ressort par les minima enregistrés pour le sodium et les sulfates, et les maxima mesurés pour le phosphore total et le fer près de la rive nord, tandis que près de la rive sud, on observait les maxima pour les valeurs de la couleur, des solides en suspension, du potassium, du manganèse et du nickel.

Les régions de Québec et de l'île d'Orléans ne montrent aucune caractéristique extrême.

4.0 ANALYSE DES RÉSULTATS

Le schéma des analyses statistiques multivariées réalisées sur les résultats de cette étude est illustré à la figure 2. L'analyse a été faite selon trois approches:

1) analyse de la variabilité saisonnière;
2) analyse des relations entre paramètres;
3) analyse des relations entre stations.

4.1 Variabilité saisonnière

La saisonnalité des données a été le premier aspect examiné parce qu'elle a une influence possible sur tous les autres. En effet, l'existence d'un patron saisonnier chez une variable peut affecter ses relations avec les autres variables et celles entre les stations au cours de l'année.

Des statistiques saisonnières pour l'ensemble des paramètres sont présentées à l'annexe 4. Pour évaluer la saisonnalité des données, nous avons d'abord procédé à une analyse de variance du facteur saison, par paramètre. Lorsqu'il y avait saisonnalité, un test de contrastes a été utilisé pour voir comment se différenciaient les saisons. Par la suite, une analyse en composantes principales a été effectuée afin de comparer le comportement des variables et des stations pour chacune des saisons. Une analyse discriminante a aussi été utilisée pour mesurer la capacité de chaque variable de faire la distinction entre les saisons.

Le tableau 3 montre les résultats de l'analyse de variance effectuée sur les paramètres pour lesquels on disposait de suffisamment de données aux quatre saisons. La base théorique de l'analyse de variance est décrite dans Nie et al. (1975) et Neter et Wasserman (1974). On doit se rappeler ici que

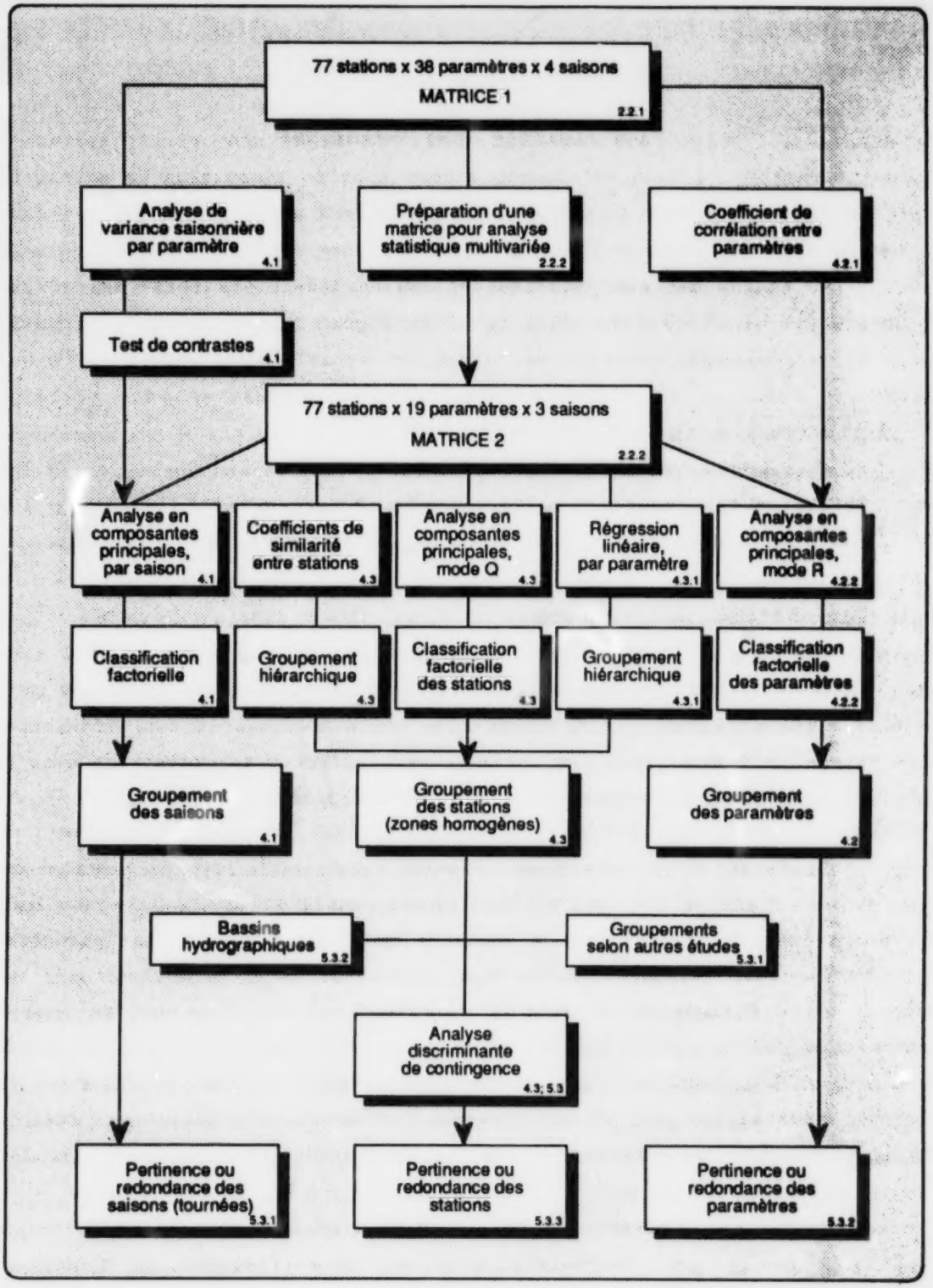


Figure 2 Schéma des analyses statistiques réalisées sur les données

(Les chiffres à l'intérieur des cases sont des renvois à des sections du rapport)

Tableau 3. Résultats de l'analyse de variance saisonnière faite pour chaque paramètre

Paramètre	Nombre de données	F	Saisonnalité*	Groupe(s) pour chaque saison**			
				H	P	E	A
Couleur apparente	159	9,224	oui	1	2	1	1
Conductivité spécifique	301	5,050	oui	1	2	1	1
Température	272	1,199	oui	1	2	3	4
Turbidité	293	1,657	oui	1	2	1	1
Résidus	293	12,91	oui	1	2	1	1
pH	301	4,610	oui	1-2	1	2	1
Alcalanité	160	1,544	non	1	1	1	1
Dureté	160	1,833	non	1	1	1	1
Calcium	153	1,029	non	1	1	1	1
Magnésium	160	2,290	non	1	1	1	1
Sodium	160	3,404	oui	1	2	1	1-2
Potassium	160	17,57	oui	1	1	2	1
Sulfates	160	4,107	oui	1	2	1	1
Chlorures	160	2,495	non	1	1	1	1
Carbone organique total	301	444,3	oui	1	2	3	2
Phosphore total	291	8,837	oui	1	2	1	1
Azote total Kjeldahl	272	1,344	non	1	1	1	1
Nitrites-nitrates	294	25,63	oui	1	2	3	4
Manganèse	245	8,098	oui	1	2	1	1
Fer	301	16,78	oui	1	2	1	1
Cuivre	301	3,653	oui	1-2	1-2	1	2
Nickel	255	5,899	oui	1-2	2	1	1-2
Zinc	301	7,187	oui	1	1	1	2
Plomb	255	10,94	oui	1	2	3	2-3
Lindane	118	1,125	non	1	1	1	1
Alpha-BHC	118	6,229	oui	1	2	3	1-3

* Lorsque $P < 0,05$, d'après le coefficient de Fisher (F).

** Le test de contrastes de Duncan a été utilisé pour identifier des groupes de saisons homogènes; le chiffre indique le groupe auquel s'associe la saison.

Les saisons soulignées sont celles où on retrouve les moyennes les plus élevées.

les résultats de la moitié des paramètres étudiés ne montrent pas une distribution normale. Le grand nombre de données compense en partie cette lacune et atténue l'effet des valeurs écartées.

Les résultats montrent d'abord que les trois quarts des paramètres étudiés ont une variabilité saisonnière. Seulement deux d'entre eux varient significativement à toutes les saisons: la température et les nitrites et nitrates. Une analyse discriminante (Nie et al., 1975) entre saisons faite avec la température a montré que ce paramètre séparait efficacement 99% des observations. L'analyse réalisée avec les nitrites et nitrates a révélé un taux de succès de 71% seulement. Cela est dû à la grande variabilité des données, ce qui occasionne des chevauchements entre les saisons. Le patron suivi par les nitrites et nitrates s'explique par la productivité biologique. Comme ce sont des nutriments très recherchés par les plantes aquatiques, les concentrations les plus basses sont mesurées en été, alors que la productivité biologique est à son maximum. C'est l'inverse qui est observé l'hiver.

À l'opposé, plusieurs paramètres ne montrent pas de variabilité saisonnière significative; ce sont l'alcalinité et ses constituants (dureté, calcium et magnésium) et les chlorures, l'azote total Kjeldahl et le lindane. L'alcalinité et ses constituants varient peu au cours de l'année parce qu'ils forment le bruit de fond de la minéralisation de l'eau et sont surtout influencés par le débit, qui varie peu dans le fleuve. Les moyennes les plus élevées sont observées en hiver, au moment où les débits sont réduits et où l'alimentation en eau est surtout de nature souterraine, et les valeurs les plus basses sont mesurées au printemps, à cause d'un effet de dilution par les eaux de crue. L'azote total Kjeldahl est un nutriment qui montre des valeurs très variables tout au long de l'année, sans patron identifiable. Le lindane est un pesticide persistant aujourd'hui peu utilisé, dont la moitié des valeurs mesurées sont sous le seuil de détection; c'est donc un bruit de fond qui serait mesuré.

Plusieurs paramètres montrent un patron bi-saisonnier pour l'ensemble de l'année. Dans presque tous les cas, c'est le printemps qui se démarque de

l'ensemble des autres saisons. On retrouve ce patron pour la conductivité, la couleur, la turbidité, les résidus, le sodium, les sulfates, le phosphore, le manganèse, le fer et le nickel. La couleur, la turbidité et les résidus dans l'eau augmentent au printemps alors que les sols sont lessivés par la fonte des neiges et que le débit est élevé. Le sodium, la conductivité et les sulfates présentent des valeurs maximales l'hiver et minimales au printemps, ce qui s'explique par un effet de dilution, qui marche à l'inverse du débit. Dans le cas du sodium, les concentrations plus élevées l'hiver pourraient aussi être attribuées aux déversements de neige usée. Le phosphore voit ses valeurs maximales mesurées au printemps, ce qui indique sa provenance possible des terres cultivées par lessivage, et une utilisation biologique réduite à cette saison. Le manganèse et le fer sont surtout de provenance naturelle et seraient lessivés au printemps, avec les solides en suspension comme l'indiquent leurs concentrations les plus élevées. Le nickel suivrait le même patron.

Quelques paramètres montrent un patron bi-saisonnier où la saison à l'écart des autres est l'été. C'est le cas pour le pH, le potassium et le cuivre. Le pH est une mesure de l'ion H+ qui est libéré par de nombreuses réactions chimiques et biochimiques. Le fait que cette unité soit logarithmique atténue sa variabilité. L'été se distingue quand même des autres saisons par ses valeurs élevées. Cela reflète l'influence des processus biochimiques qui font augmenter le pH durant le jour, à la fin de l'été. Le potassium diminue de concentration de façon significative en été alors que sa concentration est stable durant le reste de l'année. Ce patron s'explique par le fait que c'est un micronutriment essentiel aux organismes aquatiques (McNeely et al., 1980). Le cuivre montre un patron mal défini, avec des valeurs maximales à l'automne et minimales durant l'été; ces valeurs demeurent près du seuil de détection.

Les paramètres suivants présentent un patron tri-saisonnier: le carbone organique total, le plomb et l'alpha-BHC. Le carbone organique total suit un cycle semblable à la température, relié à la production biologique. Le carbone produit est à son plus bas en hiver, puis augmente au printemps

pour atteindre son maximum en été et diminuer à l'automne. Une analyse discriminante a montré que ce paramètre était un bon discriminant pour les saisons. Le plomb suit un patron où les valeurs maximales sont retrouvées en hiver et les valeurs minimales en été. Ce patron est possiblement relié à celui des activités urbaines, en particulier les rejets de neige usée l'hiver (Env. Can., 1985). L'alpha-BHC est un pesticide retrouvé surtout dans l'eau au printemps, avec des valeurs minimales durant l'hiver. Cela correspond à un pesticide persistant lessivé au printemps. Comme il n'est presque plus utilisé au Canada depuis 1970, il est possible qu'il prenne sa source dans les précipitations.

Si nous considérons maintenant les paramètres par groupes, les caractéristiques physiques montrent un patron bi-saisonnier, où le printemps ressort par les maxima mesurés, reliés à la fonte des neiges. Les ions principaux, à une exception près, montrent un patron non saisonnier, ou bi-saisonnier, avec des concentrations maximales en hiver et minimales au printemps (effet de dilution). Les nutriments, sauf l'azote Kjeldahl, montrent différents patrons saisonniers influencés par le lessivage des sols au printemps ou la productivité biologique en été. Les métaux sont liés pour la plupart au taux de solides en suspension, lui-même lié au débit, et montrent ainsi un patron bi-saisonnier avec des maxima au printemps. Mais le cuivre, le zinc et le plomb semblent subir d'autres influences et montrent des maxima durant l'automne ou l'hiver. Les deux composés organiques synthétiques étudiés montrent, soit aucune saisonnalité, soit une saisonnalité où ressort le printemps.

Dans un bilan pour l'ensemble des saisons, on remarque que l'automne est une saison bien définie* pour peu de paramètres. Il semble plutôt que l'échantillonnage ait eu lieu lors de la transition entre deux saisons, d'où des résultats ambivalents. Par contre, le printemps se démarque souvent des autres saisons, à cause de l'augmentation du débit et du lessivage des sols qui accompagnent la fonte des neiges et changent la qualité de l'eau. L'hiver

---

* Saison bien définie: associée à un seul groupe pour chaque paramètre du tableau 7, ou associée à un groupe unique à cette saison.

fait moins contraste avec les autres saisons, mais on y retrouve souvent les valeurs maximales pour les indices de minéralisation. Enfin l'été est une saison bien définie qui se démarque des autres pour les paramètres influencés par des processus biologiques.

4.2 Relations entre paramètres

Cette analyse vise à identifier des ensembles de paramètres ayant le même comportement statistique et à identifier les changements dans ces relations au fil des saisons. Pour ce faire, on a d'abord calculé les coefficients de corrélation entre les variables prises deux à deux. Par la suite, on a utilisé l'analyse en composantes principales pour comparer d'un seul coup tous les paramètres et pouvoir ainsi définir des groupes.

4.2.1 Corrélations entre paramètres

Le coefficient de corrélation non paramétrique de Spearman a été utilisé dans cette étude en raison de la non-normalité de la distribution des résultats pour certains paramètres. Il est basé sur le rang des observations classées par ordre croissant. Son fondement théorique est décrit dans Legendre et Legendre (1984) et Nie et al. (1975). La matrice de corrélation obtenue par la comparaison de toutes les paires de variables est résumée à la figure 3. Cette matrice a été dédoublée, et les coefficients ont été regroupés par classes, pour faire ressortir les variables étroitement liées ou opposées.

Dans le groupe des caractéristiques physiques, la température se distingue par son faible lien négatif avec les autres paramètres physiques, de même que le potassium, le fer, le zinc, les nitrites et nitrates, et sa relation positive avec le carbone organique. Cela s'explique par l'influence du cycle saisonnier de la température, qui est basse lors de la fonte printanière, au moment où les autres caractéristiques physiques (couleur,

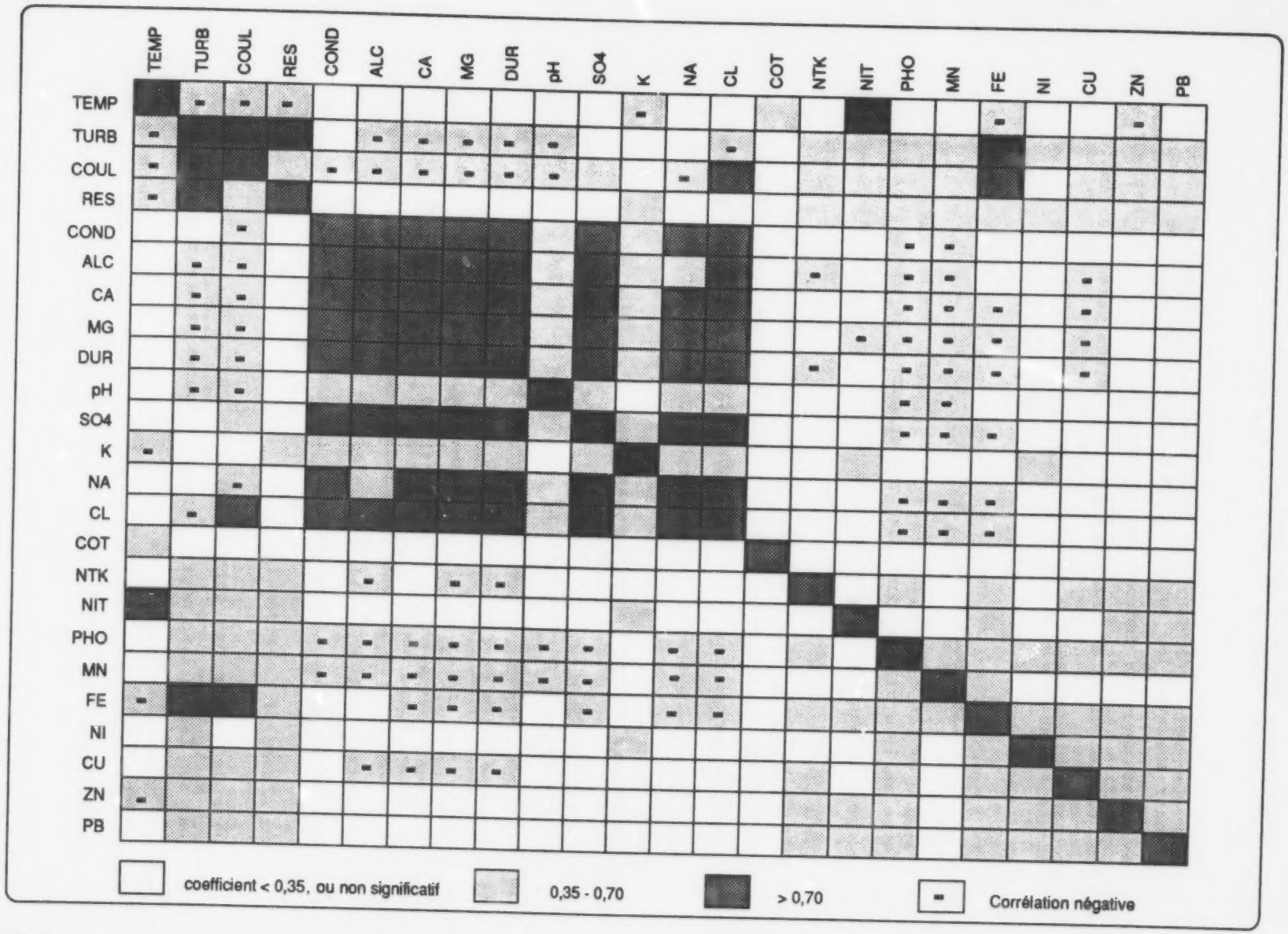


Figure 3 Matrice de corrélation de Spearman pour les principaux paramètres * mesurés

* aucun coefficient plus grand que 0,34 n'a été calculé dans le cas des pesticides arochlore, lindane et ∝-BHC

turbidité, résidus) sont élevées, de même que les nutriments et les métaux, et que la productivité biologique est faible. Le patron s'inverse alors que la température s'élève. Les autres caractéristiques physiques sont fortement reliées entre elles et reliées plus faiblement aux concentrations en nutriments et métaux. Là encore, l'accroissement du débit des eaux au printemps serait le facteur commun qui amène, en même temps que des eaux plus colorées et plus turbides, une plus grande charge en sédiments auxquels seraient liés des nutriments et des métaux.

Les nutriments (nitrites et nitrates, phosphore, azote Kjeldahl) sont peu liés entre eux, sauf le phosphore et l'azote Kjeldahl, et ils sont modérément liés à certains métaux: le fer, le zinc et le plomb. Les liaisons des nutriments avec les ions principaux sont modérées et négatives, encore une fois vraisemblablement à cause du phénomène de la fonte printanière, où les nutriments augmentent en concentration suite à leur lessivage des sols avec les sédiments, tandis que les ions principaux sont dilués par les eaux de fonte, parce qu'ils proviennent de l'érosion des roches. Enfin, le carbone organique total, qui n'est pas un indice d'élément nutritif disponible mais plutôt de production biologique, n'est lié à aucun autre paramètre sauf la température, dont il suit le cycle.

Les ions principaux: calcium, magnésium, sulfates, potassium, sodium, chlorures et les indices de minéralisation et d'acidité que constituent l'alcalinité, la dureté, la conductivité et le pH sont tous très liés entre eux. Le pH et le potassium montrent des liens plus faibles à cause de leur faible variabilité. Nous observons, par rapport aux autres groupes de paramètres, que les ions principaux ont des liens négatifs avec les caractéristiques physiques, sauf la température, des liens négatifs avec les nutriments, sauf les nitrites et nitrates, et des liens négatifs avec les métaux. Le potassium se comporte d'une façon quelque peu différente des autres ions principaux car il est lié positivement à tous les autres paramètres sauf la température. L'utilisation du potassium par les organismes aquatiques expliquerait ce comportement.

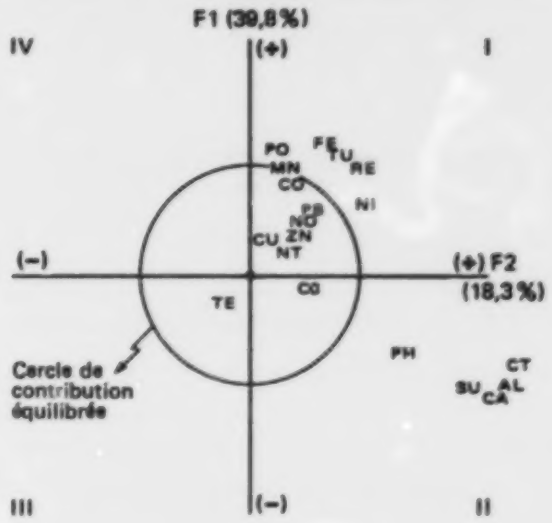
Les métaux sont tous modérément liés entre eux et liés aux caractéristiques physiques. Nous pouvons expliquer ces liens par le fait que la majeure partie des métaux totaux serait associée aux sédiments en suspension. Comme la quantité de sédiments en suspension est proportionnelle au débit de l'eau, cette hypothèse explique aussi les liens négatifs avec les ions principaux.

Enfin, les composés organiques ont des relations faibles ou non significatives avec les autres paramètres, parce que les concentrations mesurées sont basses.

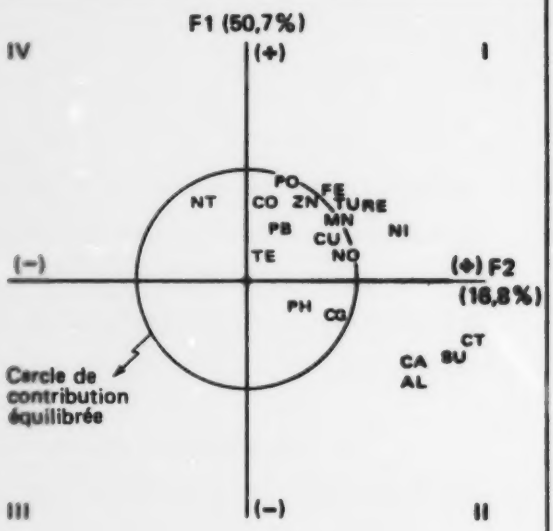
4.2.2 Analyse en composantes principales

L'analyse en composantes principales en mode "R" est une projection multidimensionnelle d'une matrice de corrélation paramétrique obtenue en associant à chaque variable un vecteur défini par ses relations avec les autres paramètres. Les fondements théoriques de cette analyse sont décrits dans Legendre et Legendre (1984) entre autres. L'analyse en composantes principales permet de distinguer des groupes de paramètres ayant le même patron de variabilité et dans ce cas-ci, d'en suivre les changements selon les saisons.

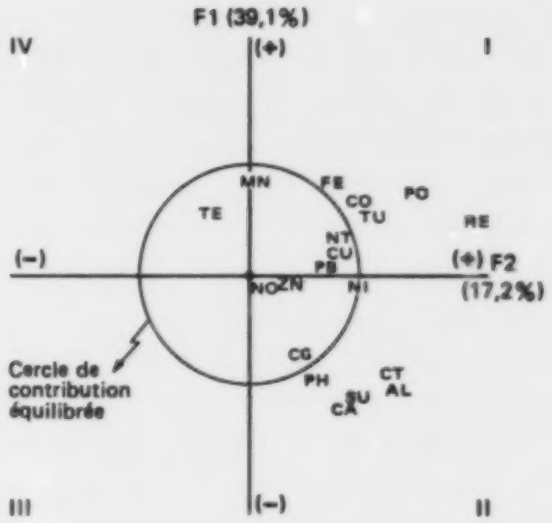
Un ensemble de paramètres ont été soumis à une analyse en composantes principales par saison, et pour l'ensemble des données. Aucun composé organique n'a été retenu, parce que ces derniers n'ont pas été mesurés à toutes les stations. Les résultats de l'analyse sont illustrés à la figure 4. Remarquons d'abord que seulement 12 des 19 paramètres offrent une contribution significative à une saison ou une autre, c'est-à-dire qu'ils se positionnent à l'extérieur du cercle de contribution équilibré. Ce sont la conductivité, l'alcalinité, le calcium, le pH, les sulfates, la couleur, la turbidité, les résidus totaux non filtrés, le phosphore, le manganèse, le fer et le nickel. De ces paramètres, la couleur, le pH, le manganèse et le nickel n'offrent pas toujours une contribution significative, si bien que huit paramètres seulement



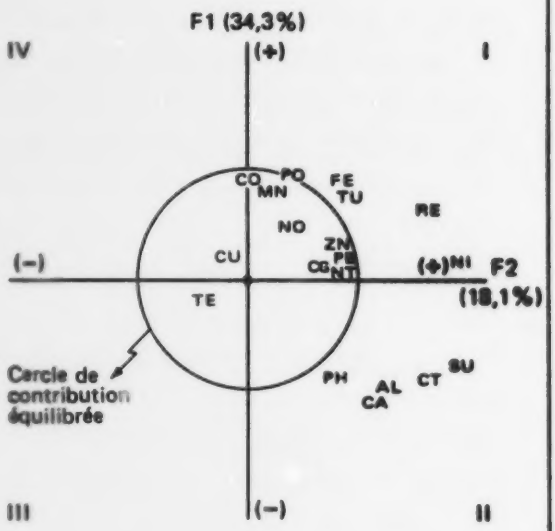
a) Données annuelles (222 observations)



b) Données du printemps (70 observations)



c) Données de l'été (76 observations)



d) Données de l'automne (76 observations)

Figure 4

Position des paramètres soumis à l'analyse en composantes principales dans l'espace formé par les deux premiers facteurs, pour différentes saisons. La variance expliquée par chaque facteur et le signe de chaque axe sont entre parenthèses.

(CT: conductivité; AL: alcanité; PH: PH; SU: sulfate; CA: calcium; CO: couleur; TU: turbidité; RE: résidus; PO: phosphore; MN: manganèse; FE: fer; NI: nickel; NO: nitrites-nitrates; PB: plomb; ZN: zinc; CU: cuivre; CG: carbone organique total; NT: azote total Kjeldahl; TE: température)

expliquent la fraction la plus importante de la variabilité des données à toutes les saisons. Ces derniers sont reliés à trois facteurs principaux correspondant aux trois premières dimensions du nuage de points. Ces facteurs sont significatifs et expliquent de 52 à 67% de la variance des donnees, selon les saisons.

La comparaison des vecteurs tracés à partir de l'origine des axes jusqu'aux points paramètres montre qu'il existe quatre grands groupes de paramètres. Le premier groupe est celui formé par la conductivité, l'alcalinité, le calcium, le pH et les sulfates. Ces paramètres sont dans des angles rapprochés dans le quadrant II de la projection à toutes les saisons, et pour l'ensemble de l'année, et sont associés au 2^{e} facteur. Ce facteur serait donc celui de la minéralisation et de l'acidité. Quant au premier facteur, on le retrouve associé à un groupe de paramètres dans le quadrant I, plus ou moins étroitement reliés selon les saisons, et formé de la turbidité, de la couleur, des résidus totaux, du phosphore, du fer et du manganèse. C'est donc le groupe des paramètres physiques, des nutriments et des métaux. Le troisième groupe est formé par le nickel, le cuivre, le zinc et le plomb, qui se séparent du groupe précédent sur le troisième axe. C'est le groupe des métaux lourds. C'est aussi sur le troisième axe que se distingue la température, qui tient lieu de facteur climatique.

Quand on compare les observations décrites plus haut à celles de la matrice de corrélations non paramétriques de Spearman, les résultats concordent assez bien, même si le mode de calcul est différent. Comme à chaque saison, pour l'ensemble des données, les groupes demeurent les mêmes, et comme le facteur associé au climat n'est jamais significatif, nous en concluons que dans le cas du fleuve, les saisons n'ont pas un effet notable sur les relations entre paramètres.

4.3 Analyse des relations entre stations

Le but de cette section est d'identifier des zones homogènes de qualité de l'eau du fleuve, pour un ou plusieurs paramètres à la fois, et de suivre leur évolution au fil des saisons. Pour ce faire, nous allons identifier des groupes de stations similaires selon quatre approches différentes:

1) groupement des stations, pour un paramètre à la fois, d'après les données des trois saisons à chaque station, à partir d'un modèle de régression;
2) association ou distinction des stations de chaque transect du réseau, pour un paramètre à la fois, d'après les données de plusieurs saisons à chaque station, à partir d'une analyse de variance;
3) calcul des coefficients de similarité entre stations, pour plusieurs paramètres à la fois, d'après les données d'une seule saison, puis groupement des stations par classification ascendante hiérarchique;
4) groupement des stations, pour plusieurs paramètres à la fois, d'après les données d'une seule saison, au moyen d'une analyse en composantes principales entre stations.

Dans les cas où des groupements de stations auront été identifiés pour plusieurs paramètres à la fois, une analyse discriminante permettra d'évaluer la capacité de chaque paramètre à faire la distinction entre ces groupes.

4.3.1 Groupements de stations, par paramètre

Un modèle de régression linéaire avec une composante spatiale et une composante temporelle a été appliqué à certains des paramètres mesurés dans le réseau de surveillance du fleuve Saint-Laurent. Ce modèle a été originalement développé par El-Shaarawi et Shah (1978) pour l'identification de zones homogènes de biomasse phytoplanctonique dans le lac Supérieur, à partir d'un

groupe de stations échantillonnées plusieurs fois dans une année. Le modèle a été appliqué par El-Shaarawi et Kwiatkowski (1977) sur les données de transparence, de température, de carbone organique particulaire, d'azote total particulaire et de chlorophylle a dans le lac Ontario, afin d'identifier des zones homogènes annuelles pour chaque paramètre puis d'optimiser le réseau d'échantillonnage en réduisant le nombre de stations.

Dans le cas du fleuve Saint-Laurent, les données provenant des trois tournées complètes ont été utilisées pour identifier des zones homogènes pour chacun des paramètres suivants: conductivité, turbidité, couleur et température. L'analyse des groupements de stations homogènes pour la conductivité a été faite avec divers niveaux de risque (P) d'obtenir des groupements dus au hasard, soit 5%, 10%, 20% et 30%. Plus le risque est élevé, et plus le nombre de groupes est grand. Dans le cas des données de conductivité, les résultats les plus sensés ont été obtenus avec P=10%. À ce niveau, cinq groupes de stations ont été identifiés, tel qu'illustré sur le schéma de la figure 6. Les codes des stations de cette figure et des suivantes sont décrits à la figure 5.

La distribution des groupes montre d'abord qu'à partir du lac Saint-Louis jusqu'en amont de Québec, le fleuve est divisé en deux grandes masses d'eau. Ces masses correspondent aux "eaux vertes" en provenance des Grands Lacs, qu'on retrouve dans la voie maritime et près de la rive sud, et aux "eaux brunes" en provenance des rivières du Bouclier laurentien, sur la rive nord. Ces deux masses d'eau sont bien connues et avaient déjà été mises en évidence par les travaux du Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent (1978) et Germain et Janson (1984). Les eaux vertes et les eaux brunes ne se mélangent qu'en aval de Portneuf, suite à l'action des marées.

Ainsi dans les eaux brunes nous retrouvons l'ensemble des stations du groupe A, où la conductivité mesurée est la plus faible; ce sont les eaux des rivières des Outaouais, L'Assomption, Saint-Maurice et Saint-Régis. Le groupe B est composé de stations avec des valeurs plus élevées, situées dans

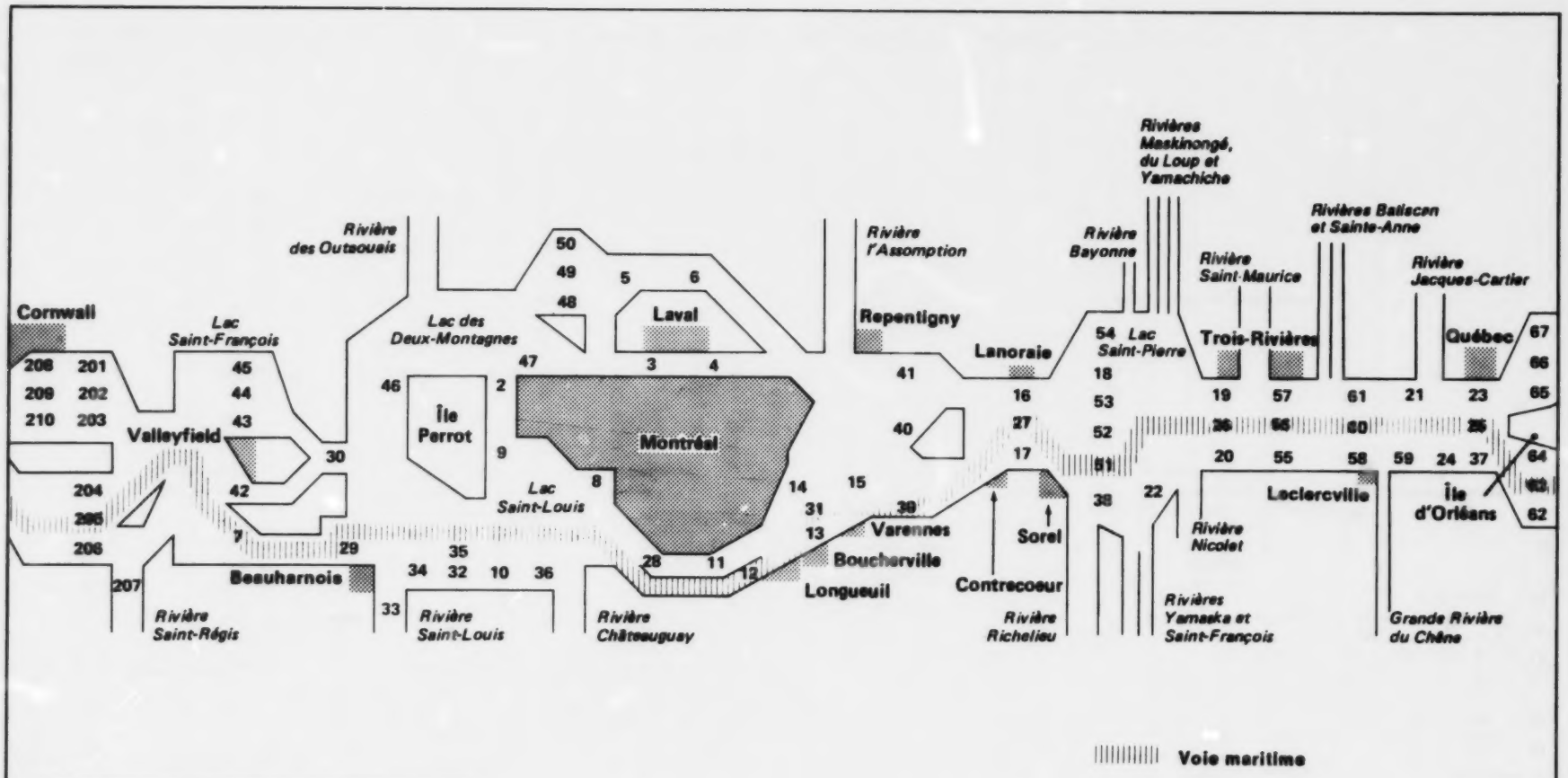
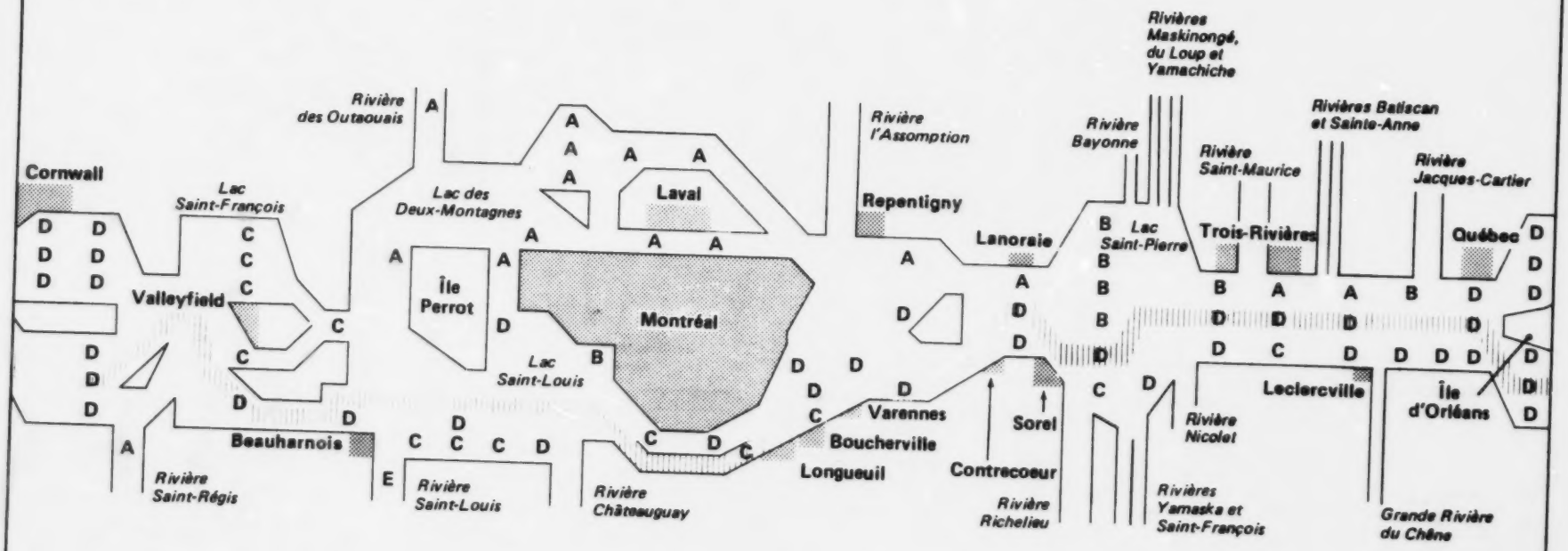


Figure 5 .
Distribution schématisée des stations d'échantillonnage ayant servi à la définition de zones homogènes dans le fleuve Saint-Laurent (seuls les derniers chiffres du code de chaque station ont été conservés).



GROUPE	CLASSE (µS)	# STATION
A	65-125	16
B	126-225	7
C	226-300	13
D	301-350	40
E	> 350	

Voie maritime

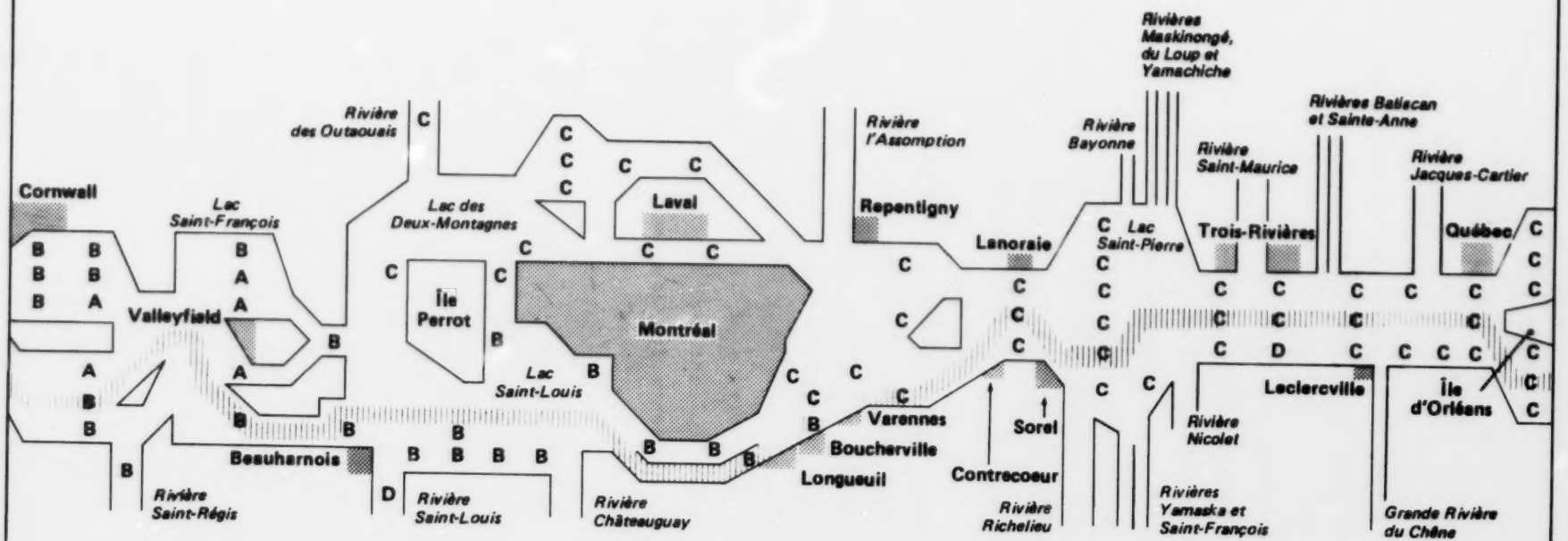
Figure 6
Distribution des groupes homogènes de stations pour la **conductivité**, d'après le modèle de El-Shaarawi et Shah (1978).

des zones de mélange des îles de Sorel, de la sortie du lac Saint-Pierre, dans la baie de Valois à l'ouest de Montréal, et à Portneuf.

Les eaux vertes sont composées des groupes C et D. Le groupe D est le plus important et le plus minéralisé et se retrouve en amont dans les eaux des Grands Lacs, à la hauteur de Cornwall, en aval dans les eaux de l'estuaire à partir de Québec, et un peu partout entre ces deux endroits. Le groupe C, moins minéralisé, complète le groupe D et se retrouve dans les eaux de type lacustre: lac Saint-François, lac Saint-Louis, bassin de Laprairie et lac Saint-Pierre. Nous retrouvons en dernier lieu le groupe E, composé d'une seule station très polluée à l'embouchure de la rivière Saint-Louis.

Les applications du modèle de El-Shaarawi et Shah (1978) aux données sur la turbidité (figure 7) donnent des résultats moins évidents, parce que les mesures sont moins variables. Ici, seulement quatre groupes interchevauchés ont été retenus, avec un risque de 5%. Le groupe A présente les valeurs les moins élevées. Ce sont les eaux très claires en provenance des Grands Lacs, retrouvées dans les environs de Valleyfield, à la sortie du lac Saint-François ou près de Cornwall, dans des secteurs où la vitesse du courant est faible. Le groupe B représente les eaux vertes des Grands Lacs, du lac Saint-Louis jusqu'en aval de Montréal.

Le groupe C est de loin le plus important, et regroupe presque toutes les stations au nord et à l'est de Montréal, qui sont plus turbides que les eaux originales des Grands Lacs, soit parce qu'elles proviennent des tributaires du Bouclier laurentien (e.g. eaux "brunes"), parce qu'elles sont enrichies par les tributaires de la rive sud qui drainent des terres agricoles, ou par suite du brassage par les marées. Ce groupe couvre une gamme de valeurs très large (3,0 à 30,0 unités) par rapport aux autres groupes. Enfin, le groupe D est formé des deux stations présentant les valeurs les plus élevées, soit à l'embouchure de la rivière Saint-Louis, affectée par de nombreux effluents industriels, et dans un herbier près du quai industriel de Bécancour.



GROUPE	CLASSE (µS)	# STATION
A	< 1,3	5
B	1,3 - 3,0	22
C	3,1 - 30,0	48
D	> 30,0	2

Figure 7
Distribution des groupes homogènes de stations pour la **turbidité**, d'après le modèle de El-Shaarawi et Shah (1978).

Les résultats de l'application du modèle aux données sur la couleur sont illustrés à la figure 8. Comme ces données présentent une bonne variabilité, l'analyse a conduit à l'identification de quatre groupes avec peu de chevauchements. Le groupe A caractérise les eaux très claires en provenance des Grands Lacs ("eaux vertes") jusqu'à l'est du lac Saint-François, surtout dans les zones où la turbidité est réduite. Le groupe B est le plus important et chevauche en partie le groupe C. Il s'étend surtout sur la rive sud et la voie maritime du lac Saint-Louis jusqu'à l'île d'Orléans. Il représente les eaux vertes et les eaux mélangées. Le groupe C caractérise originalement les eaux brunes plus colorées de la rive nord, puis se confond avec le groupe B en aval de Trois-Rivières, suite à des apports d'origine agricole et à l'effet des marées.

Le groupe D est caractérisé par une couleur très élevée et correspond généralement aux stations les plus affectées par des activités humaines: complexes industriels, usines de pâtes et papiers ou activités agricoles intensives. Dans la région de Québec, la station de Lévis fait bande à part, parce que ses eaux sont récoltées en profondeur.

Dans un dernier temps, les données sur la température ont aussi été analysées mais ne sont pas illustrées. Seuls deux groupements sont ressortis, à savoir, d'une part, la grande majorité des stations, et d'autre part, six stations plus "chaudes" représentant, soit de petits émissaires, soit des stations ripariennes. Nous pouvons donc considérer que le patron saisonnier de la température est pratiquement le même dans le fleuve Saint-Laurent.

4.3.2 Analyse de sections transversales, par paramètre

La variation spatiale devient très importante à mesurer lorsqu'on doit échantillonner des sections du fleuve qui sont très larges, afin de déterminer le degré d'homogénéité de la qualité des eaux et ainsi de déterminer le nombre de stations nécessaires à l'échantillonnage. Le modèle de El-Shaarawi et Shah (1978) nous donne une idée de cette homogénéité pour un

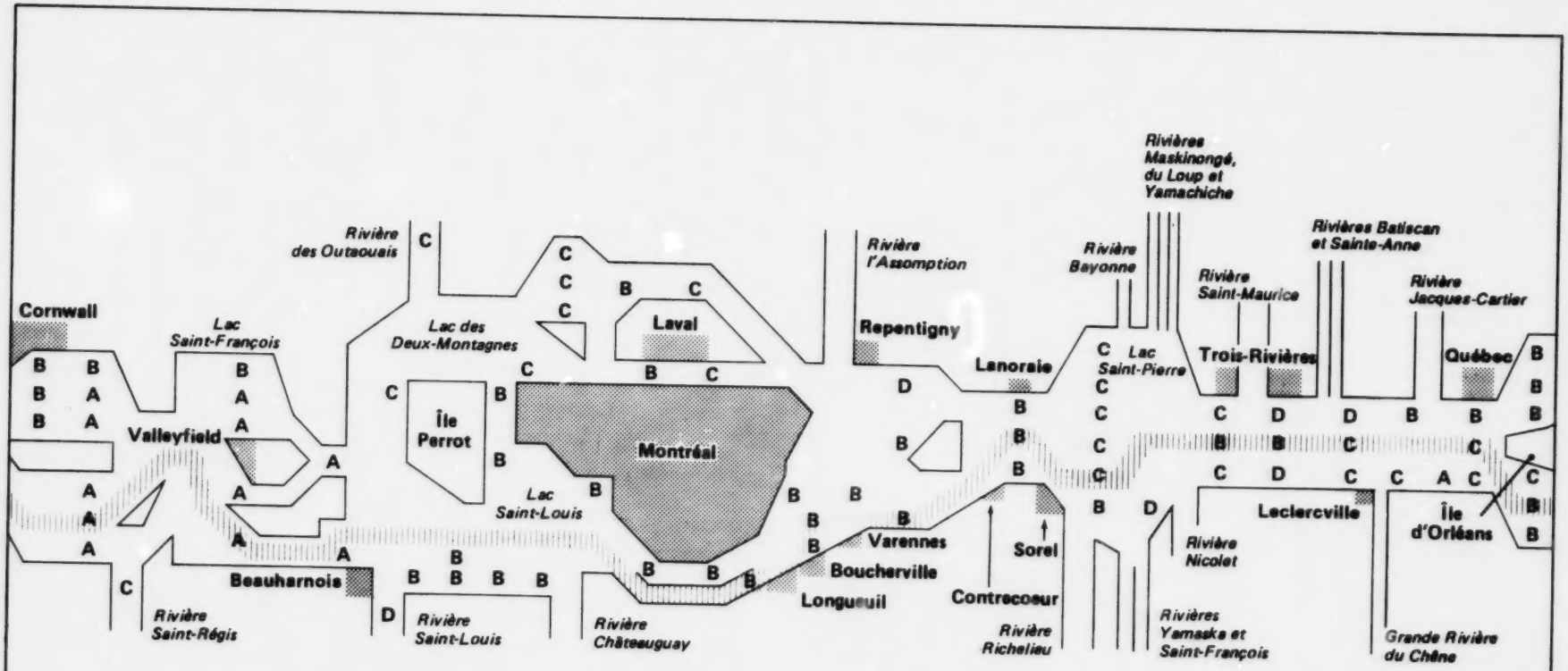


Figure 8
Distribution des groupes homogènes de stations pour la **couleur**, d'après le modèle de El-Shaarawi et Shah (1978).

seul paramètre pour l'ensemble du fleuve tandis que l'analyse en composantes principales ou la classification ascendante hiérarchique tracent le même portrait pour plusieurs paramètres à la fois, mais ces deux méthodes manquent de raffinement au niveau local. Pour remédier à cette lacune, on peut utiliser des outils comme l'analyse de variance à un facteur, qui permet de comparer entre elles les stations d'une section pour chaque paramètre, mais le nombre de données nécessaires doit être élevé à chaque station. Comme cela n'était pas le cas en 1983-1984, nous avons examiné les résultats d'une analyse de variance conduite sur une base de données interne tirée de NAQUADAT et couvrant la période 1977-1983 pour neuf sections transversales (sauf l'île d'Orléans où l'échantillonnage a débuté en 1983). L'analyse de variance à un facteur a été faite pour six paramètres, soit la conductivité, la turbidité, le pH, les nitrites et nitrates, le phosphore total et le cuivre.

Le tableau 4 résume les résultats de l'analyse de variance. Lorsque des différences entre stations étaient observées, un test de contrastes de Duncan (Nie et al., 1975) était réalisé afin d'identifier les groupements de stations d'après leurs moyennes. Le tableau montre que les stations des sections de Cornwall nord, de l'île Jésus (ouest) et de Québec sont identiques. Les stations de la section de Cornwall sud et de Valleyfield varient par leur turbidité seulement, celles de Pointe-aux-Trembles par leur conductivité seulement, tandis que les stations de l'île Jésus (est), Lanoraie et Trois-Rivières se différencient pour plusieurs paramètres.

4.3.3 Définitions de zones homogènes générales, par saison, à partir de l'ensemble des paramètres

La définition de zones homogènes de qualité de l'eau à partir du regroupement des stations similaires pour un seul paramètre, tel que vu dans la section précédente, devient fastidieuse à interpréter lorsque le nombre de paramètres se multiplie. C'est pourquoi nous allons aussi utiliser des méthodes d'analyse multivariée pour la définition de zones homogènes, à partir des 19 paramètres de la matrice II.

Tableau 4. Résumé des résultats de l'analyse de six des principaux paramètres mesurés dans le fleuve Saint-Laurent de 1977 à 1983, aux stations de neuf sections transversales

Transect	Stations	Conductivité			Turbidité			pH			Phosphore total			Nitrates			Cuivre**		
		N*	F*	C*	N	F	C	N	F	C	N	F	C	N	F	C	N	F	C
Cornwall (Sud)	9204, 9205, 9206	51	=	idem	62	=	idem	63	=	idem	47	=	idem	41	=	idem	27	=	idem
Cornwall (Nord)	9201, 9202, 9203	51	=	idem	63	≠	03,02/02,01	50	=	idem	50	=	idem	42	=	idem	27	=	idem
Valleyfield	9007, 9029, 9030	100	=	idem	115	≠	07,29/29,30	115	=	idem	62	=	idem	36	=	idem	32	=	idem
Ile Jésus (Ouest)	9003, 9005	68	=	idem	74	=	idem	76	=	idem	43	=	idem	22	=	idem	25	=	idem
Ile Jésus (Est)	9004, 9006	39	≠	04/06	46	=	idem	52	=	idem	42	≠	04/06	22	=	idem	25	≠	04/06
Boucherville	9013, 9014, 9031	51	≠	14,31/31,13	77	=	idem	85	=	idem	72	=	idem	34	=	idem	46	=	idem
Lanoraie	9016, 9017, 9027	53	≠	16/27,17	71	=	idem	79	≠	16/27,17	62	≠	16/27,17	36	≠	16/17,27	39	=	idem
Trois-Rivières	9019, 9020, 9026	52	≠	19/20,26	70	≠	19,20/20,26	70	≠	19,20/20,26	61	≠	19,20/20,26	36	=	idem	36	=	idem
Québec	9023, 9025, 9037	62	=	idem	71	=	idem	74	=	idem	68	=	idem	36	=	idem	34	=	idem
Québec (Sud)	9024, 9037	58	=	idem	57	=	idem	58	=	idem	39	=	idem	20	=	idem	17	≠	37/24

*N: nombre de données; F: coefficient de Fisher (P significatif = 0,05); =: pas de différence; ≠: différence; C: groupements formés suite au test de contraste a posteriori de Duncan (P = 0,05). Les numéros de stations (deux derniers chiffres) sont séparés par groupes.

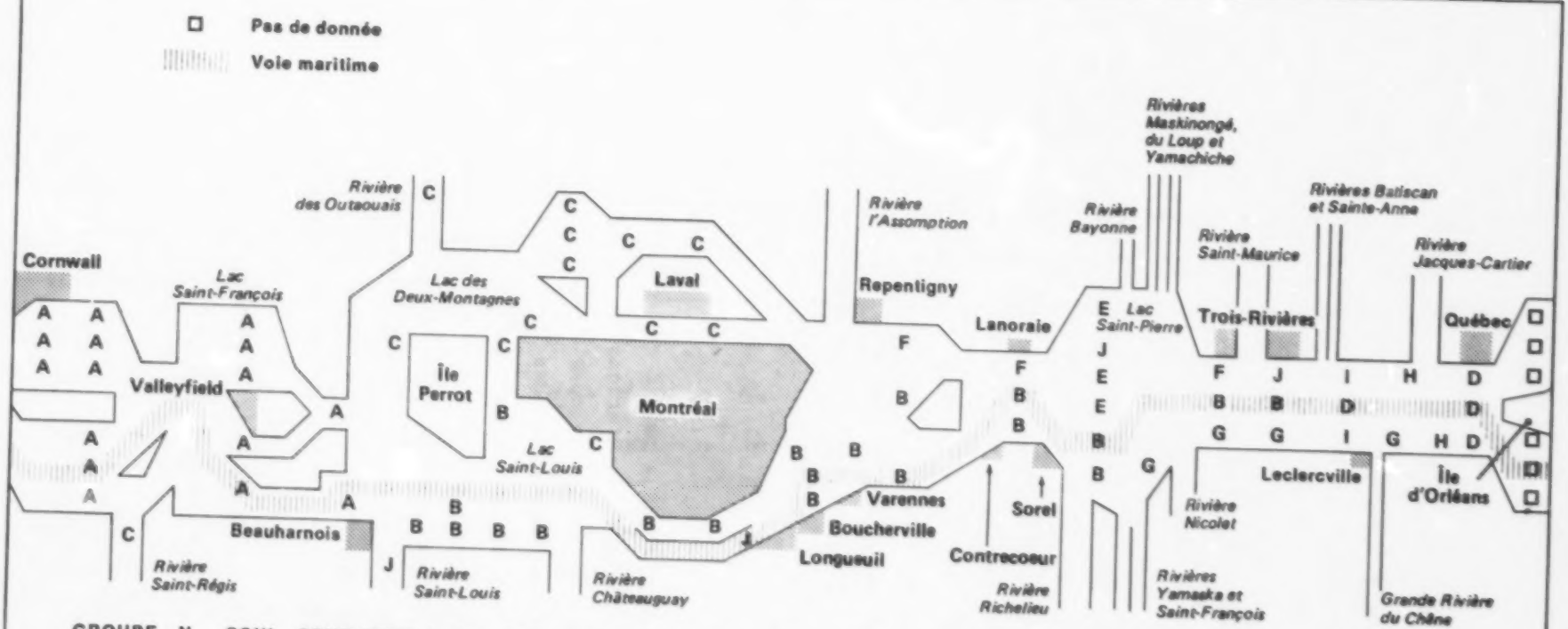
** La différence entre les stations 9037 et 9024 pour le cuivre est due à la contamination de la station 9024 dont l'eau provenait d'une prise d'eau. Une différence pour le zinc y a aussi été observée.

L'analyse en composantes principales en mode Q (i.e. comparant les stations entre elles) et la classification ascendante hiérarchique (réalisée ici à partir du coefficient symétrique de similarité de Gower) sont deux approches différentes permettant de définir des groupements de stations homogènes pour un ensemble de paramètres donnés, par saison. Elles donnent sensiblement les mêmes résultats et permettent donc une contre-vérification des groupements identifiés. Les deux méthodes sont décrites entre autres dans Legendre et Legendre (1984a, b). Une fois les groupes de stations définis par les deux méthodes décrites ci-dessus, on peut déterminer quel(s) paramètre(s) explique(nt) le mieux la diversité entre les groupes. On utilise à cet effet l'analyse discriminante, décrite dans Nie et al. (1975).

Nous allons d'abord définir et expliquer les zones homogènes générales représentant l'ensemble des paramètres soumis à l'analyse multivariée, par saison. Nous allons ensuite refaire la même analyse pour les nutriments seulement, puis les métaux seulement.

Printemps

Les zones homogènes identifiées à partir des résultats du printemps sont illustrées à la figure 9. Comme les stations de l'île d'Orléans n'ont pas été échantillonnées à cette saison, les groupes ont été formés à partir de 71 stations. Étant donné la grande variabilité des résultats, dix groupes ont été identifiés. Les groupes A et B sont ceux qui dominent avec plus de la moitié des stations; ils représentent les "eaux vertes" des Grands Lacs. Le groupe A se caractérise par des teneurs en nutriments, résidus et métaux lourds, une conductivité et une minéralisation (alcalinité, calcium, sulfates) élevées. Il couvre tout le lac Saint-François de Cornwall à Valleyfield. Le groupe B montre des caractéristiques physiques et des teneurs en carbone organique et métaux lourds un peu plus fortes. Il s'étend du lac Saint-Louis jusqu'à Trois-Rivières, du côté sud et dans la voie maritime. Les groupes A et B sont statistiquement très rapprochés.



GROUPE	N	COUL	COND	TEMP	TURB	COT	NTK	NIT	AL	PH	RES	PHO	SULF	CA	MN	FE	NI	CU	ZN	PB
A	24	39	258	4,7	3,0	10,4	0,234	0,202	84,1	7,4	4,6	0,013	24,4	33,9	19	637	1	1	4	P1
B	12	56	259	7,9	4,6	11,4	0,252	0,311	74,1	7,6	8,2	0,029	23,9	30,2	P10	353	1	2	4	1
C	13	64	117	6,7	6,5	10,3	0,355	0,232	31,7	7,4	6,4	0,050	11,2	11,8	13	553	1	1	4	1
D	4	157	201	7,0	17,0	9,0	0,275	0,298	52,7	7,1	38,1	0,070	17,5	21,4	32	1162	2	2	8	2
E	3	253	150	8,0	28,3	9,4	0,329	0,410	39,1	7,2	41,3	0,105	13,9	15,7	40	1883	4	5	13	P1
F	3	312	111	7,8	50,3	8,4	0,402	0,380	32,6	7,3	71,1	0,169	12,6	12,3	60	3590	3	4	14	2
G	4	287	195	9,7	35,0	12,6	0,404	0,420	49,2	7,4	50,0	0,104	15,7	18,6	52	2185	5	4	9	2
H	2	15	148	6,8	34,0	8,8	0,298	0,280	39,4	8,0	85,8	0,137	16,0	19,2	85	2845	4	12	15	3
I	2	865	125	5,7	77,0	9,4	0,519	0,320	30,5	7,1	194,0	0,345	12,0	12,2	16	7540	8	8	3	4
J	4	292	281	6,7	35,0	9,1	0,412	0,982	76,1	7,1	37,4	0,135	31,5	29,8	P10	2350	2	4	12	3

Figure 9
Distribution spatiale des **groupes homogènes généraux** de stations définis par l'ensemble des paramètres durant le **printemps**, d'après une analyse en composantes principales et une classification ascendante hiérarchique. Le tableau présente les moyennes pour chaque groupe.

À l'opposé des groupes A et B, on retrouve le groupe C qui représente les eaux brunes en provenance du Bouclier canadien. Ce groupe compte le cinquième des stations, du côté de la rive nord, à partir de la rivière des Outaouais jusqu'aux rivières Des Prairies et des Mille Iles. Le groupe C est caractérisé par une conductivité, une minéralisation et des teneurs en métaux faibles, et une couleur et une turbidité plus élevées que les groupes A et B. La séparation des eaux est nette. On remarque que la rivière Saint-Régis et une bande d'eau courant le long de la rive ouest de l'île de Montréal appartiennent à ce groupe.

Le groupe D représente le mélange final des deux masses d'eau décrites plus haut et est retrouvé à partir de Leclercville dans la voie maritime et dans toute la masse d'eau à la hauteur de Québec. Ses caractéristiques générales sont intermédiaires, suite au mélange des eaux brassées par le mouvement des marées à partir de Trois-Rivières.

Les groupes E et F représentent des eaux du groupe C affectées par la pollution agricole. Le groupe E est retrouvé dans les îles de Sorel. Les caractéristiques physiques et les concentrations en ions principaux, nutriments, solides en suspension, métaux et métaux lourds y sont plus élevés que le groupe C. Le groupe F couvre la rive nord en aval de l'embouchure de la rivière L'Assomption, et du lac Saint-Pierre. Les valeurs pour la couleur, la turbidité, les résidus, les nutriments (sauf le carbone organique total) et les métaux sont plus élevées que celles du groupe C.

Le groupe G, formé de quatre stations, montre les "eaux vertes" affectées par les activités agricoles de la rive sud, à partir du lac Saint-Pierre. Les résultats pour la couleur, la turbidité, les nutriments des résidus, métaux et métaux lourds associés sont élevés par rapport à celles du groupe B. Le groupe H montre une altération des eaux de mélange du groupe D par des conditions locales associées aux rives ou au fond. Les eaux sont plus turbides, plus riches en résidus et en métaux. Ces conditions se retrouvent au quai de Portneuf et à la prise d'eau de Lévis, située près du fond. Le groupe I ne compte que deux stations retrouvées à la section transversale de

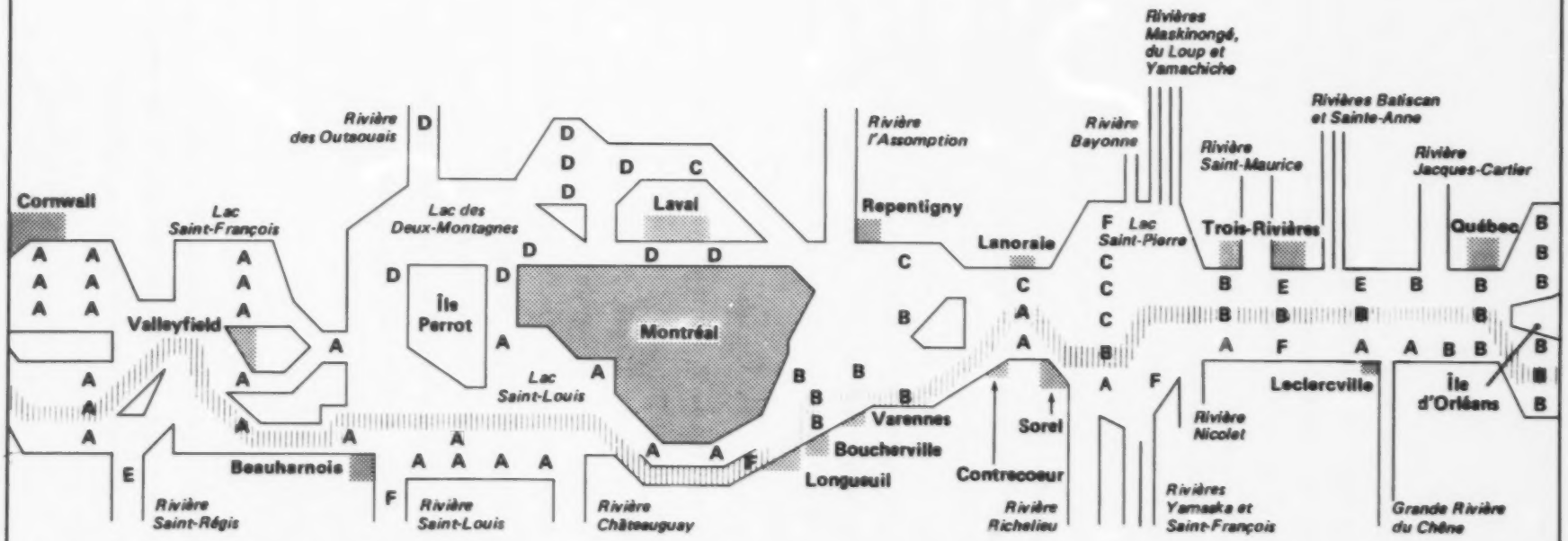
Leclercville. Les paramètres physiques, les concentrations en nutriments et en métaux sont très élevées par rapport au groupe D en aval, tandis que les teneurs en ions principaux sont plus faibles, ce qui reflète les apports de rivières Saint-Maurice et Sainte-Anne au nord, et de la rivière du Chêne au sud.

Enfin le groupe J représente un regroupement arbitraire des stations à caractère individuel, qui ressortent par des valeurs extrêmes. Ces stations représenteraient soit des conditions locales ou inhabituelles, soit des zones homogènes sous-échantillonnées. Ainsi les stations à l'embouchure des rivières Saint-Louis et Saint-Maurice sont fortement affectées par des rejets industriels, celle située à la sortie du petit bassin de Laprairie, est influencée par des rejets d'égouts et des apports de petits cours d'eau traversant des zones agricoles, et celle du delta de Sorel est aussi affectée par des rejets agricoles.

Enfin la station dans la zone d'influence de la rivière Saint-Maurice, où on retrouve plusieurs usines de pâtes et papiers, montre des valeurs élevées pour la couleur, basses pour le pH et élevées en métaux par rapport aux eaux du Bouclier canadien.

Été

Le portrait décrit plus haut se modifie durant l'été, tel qu'il est illustré à la figure 10. En gros, la diminution du débit des tributaires du fleuve amène un changement dans la qualité des eaux qui deviennent moins turbides, moins colorées et plus minéralisées. Les teneurs en solides en suspension (résidus) diminuent aussi, tandis que la production biologique augmente, d'où un accroissement du pH et des concentrations en carbone organique. On observe aussi que la variabilité des résultats est en général plus faible, si bien que nous nous retrouvons avec six groupes homogènes au lieu de dix. En comparant ces groupes avec ceux du printemps, on s'aperçoit que les groupes A et B identifiés au printemps sont maintenant étendus vers l'est, jusque dans le lac Saint-Louis pour le premier et jusqu'à Québec pour



GROUPE	N	COUL	COND	TEMP	TURB	COT	NTK	NIT	AL	PH	RES	PHO	SULF	CA	MN	FE	NI	CU	ZN	PB
A	31	24	281	22,3	1,3	12,2	0,238	0,094	82,3	8,1	2,1	0,016	26,4	34,6	11	155	1	1	2	P1
B	22	35	243	22,2	3,3	9,6	0,217	0,122	74,1	7,9	5,5	0,028	25,5	30,0	13	230	1	2	3	P1
C	6	46	150	23,1	4,2	9,5	0,304	0,132	44,0	7,6	6,0	0,053	18,4	18,3	23	373	1	2	3	P1
D	10	48	69	23,1	3,2	5,6	0,247	0,092	18,8	6,7	2,6	0,030	9,8	7,7	28	360	P1	1	2	P1
E	3	59	106	23,3	3,4	9,3	0,230	0,070	32,6	7,4	2,8	0,032	11,8	11,6	37	437	P1	P1	3	P1
F	5	88	320	23,1	11,6	11,4	0,337	0,082	78,3	7,8	26,3	0,079	25,9	30,0	20	365	1	2	12	1

Figure 10
Distribution spatiale des **groupes homogènes généraux** de stations définis par l'ensemble des paramètres durant l'**été**, d'après une analyse en composantes principales et une classification ascendante hiérarchique. Le tableau présente les moyennes pour chaque groupe.

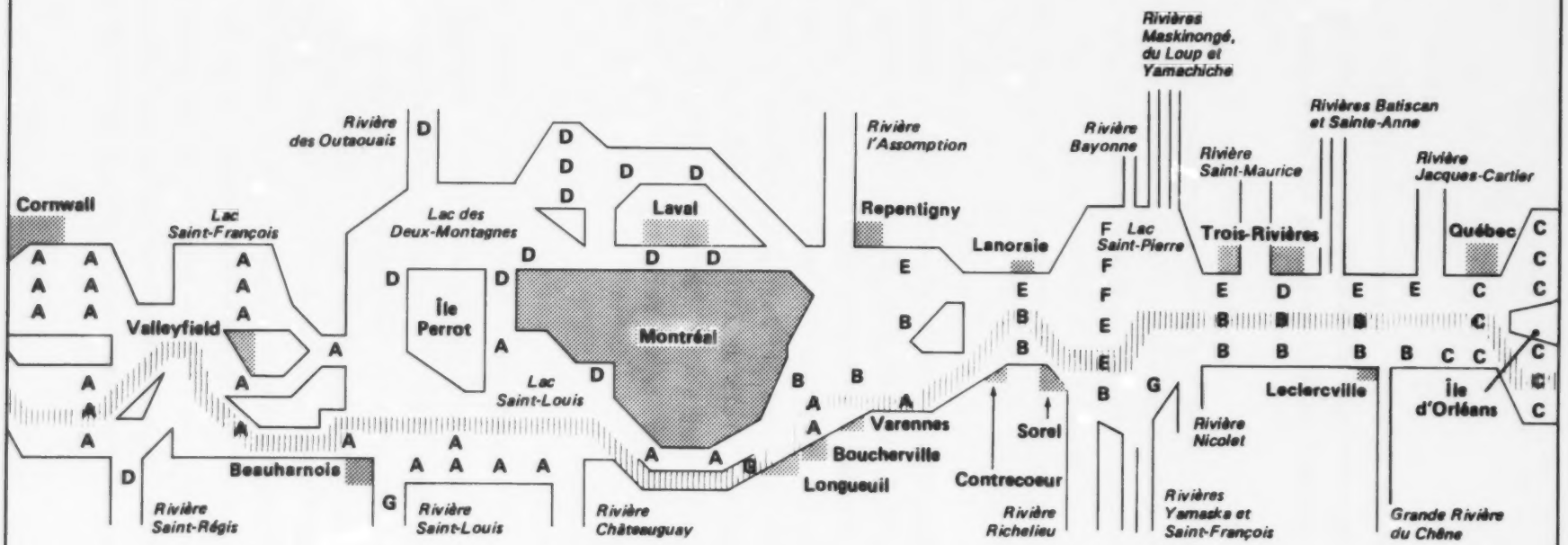
le second, ce qui éclipse les groupes D et H du printemps. Le peu de variabilité des données fait aussi que les groupes A et B se chevauchent. La station à l'est du lac Saint-Louis, est maintenant représentative des eaux des Grands Lacs, les eaux en provenance de la rivière des Outaouais ayant diminué de débit et étant refoulées plus au nord. Le même phénomène affecte la station de la rive nord à la sortie du lac Saint-Pierre. Durant l'été donc, les eaux vertes dominent largement le fleuve avec les deux tiers des stations.

Du côté des "eaux brunes", le groupe C de l'été correspond aux groupes E et F du printemps, avec une petite extension vers l'ouest dans la rivière des Mille Iles, affectée par des apports d'égouts. Le groupe D, quant à lui, correspond au groupe C du printemps, amputé de deux stations. Enfin, le groupe E couvre deux stations dans le même secteur que le groupe I du printemps, et reflète les apports de la rivière Saint-Maurice avec leur couleur et leur contenu en matière organique élevés, mais peu minéralisées et rapprochées statistiquement des eaux de la rivière des Outaouais, comme le démontre l'analyse discriminante.

Le groupe F, où nous avons combiné arbitrairement les stations à caractère individuel, compte à nouveau les stations à l'embouchure de la rivière Saint-Louis et à la sortie du petit bassin de Laprairie. Une station des îles de Sorel se démarque à nouveau par ses valeurs élevées de turbidité, de couleur, de résidus et de métaux. La station sise à Nicolet serait affectée par des conditions très locales (forte vague, faible niveau d'eau). La station au quai industriel de Bécancour est influencée par la présence des battures (herbiers) et la faible profondeur de l'eau, les rejets de la rivière Bécancour (zone agricole) juste en amont, et la proximité d'un parc industriel.

Automne

Les caractéristiques des groupements homogènes formés à l'automne sont illustrées à la figure 11. Les pluies d'automne amènent à nouveau un peu plus de variabilité dans les systèmes aquatiques avec l'augmentation du débit



GROUPE	N	COUL	COND	TEMP	TURB	COT	NTK	NIT	AL	PH	RES	PHO	SULF	CA	MN	FE	NI	CU	ZN	PB
A	27	14	302	13,8	1,8	5,2	0,215	0,143	81,3	7,9	2,3	0,014	28,4	34,2	8	92	1	1	3	P1
B	13	36	300	11,6	6,0	11,8	0,510	0,167	78,2	7,8	9,4	0,024	29,2	32,1	14	426	2	2	3	P1
C	10	25	273	11,2	5,0	5,6	0,662	0,173	70,1	7,4	9,5	0,042	28,1	30,3	11	424	3	6	46	3
D	14	49	119	13,6	4,0	6,5	0,278	0,176	23,0	7, 0	4,1	0,036	12,4	10,3	18	336	P1	7	9	P1
E	7	51	169	11,5	5,7	6,5	0,266	0,213	44,5	7,4	8,1	0,050	18,9	17,7	10	464	1	2	3	P1
F	3	66	155	14,0	6,4	7,1	0,331	0,520	32,3	7,2	12,5	0,064	16,9	15,2	30	617	2	4	106	1
G	3	88	370	13,7	8,2	6,5	0,313	0,350	80,0	7,7	9,3	0,044	33,0	34,0	20	500	2	2	42	1

Figure 11
Distribution spatiale des **groupes homogènes généraux** de stations définis par l'ensemble des paramètres durant l'**automne**, d'après une analyse en composantes principales et une classification ascendante hiérarchique. Le tableau présente les moyennes pour chaque groupe.

et du lessivage. Les eaux sont en général un peu plus colorées et plus chargées en résidus que l'été. Les eaux en provenance de l'Outaouais et des affluents de la rive nord occupent à nouveau plus d'espace. Leur comportement se rapproche de celui du printemps.

L'analyse statistique a conduit à l'identification de sept groupes homogènes. Le groupe A ressemble à son homonyme de l'été, mais il est défini cette fois de façon distincte par rapport au groupe B et s'étend jusqu'à l'est de Montréal. Le groupe B s'étend en aval jusqu'à Leclercville. Il est très rapproché statistiquement du groupe C qui représente toutes les stations en aval de Leclercville.

Le groupe D représente les stations des eaux brunes en provenance de l'Outaouais, et récupère les deux stations de plus qu'il comptait au printemps. Le groupe E réunit à nouveau les stations affectées par la rivière L'Assomption, et englobe maintenant toutes les eaux de la rive nord (sauf la station en aval de Trois-Rivières) jusqu'à Portneuf, un peu comme au printemps. Le groupe F ne compte que trois stations, du côté nord dans la zone des îles de Sorel, comme au printemps aussi. Enfin le groupe G comprend à nouveau les stations individuelles de la rivière Saint-Louis, du petit bassin de Laprairie et de Nicolet.

Paramètres discriminants

L'analyse discriminante est le développement d'un ensemble de fonctions linéaires reliant la variabilité d'une série d'observations à une classification donnée. Chaque fonction permet de placer les groupes sur un axe et alors d'identifier les paramètres à l'origine des différences entre ces groupes (paramètres discriminants). Les fonctions permettent aussi de valider la classification de chaque station dans un groupe homogène donné ou de classer de futures observations parmi les groupes existants. L'étude des paramètres pris un à un montre que pour les trois saisons, tous les paramètres apportent une contribution significative aux différences entre les groupes, à deux exceptions près en automne: l'azote Kjeldahl et le cuivre. Ces deux

paramètres apportent d'ailleurs une contribution très faible pour les autres saisons, de même que les nitrates, à cause de leur variabilité qui est trop aléatoire pour qu'on puisse en dégager des tendances spatiales.

L'étude des paramètres les plus discriminants pour chaque saison a été faite à l'aide d'une analyse d'où ont été exclues les stations à caractère individuel, puisqu'elles ne forment pas un groupe comme tel. Le résumé de l'analyse discriminante faite pour chaque saison est décrit au tableau 5.

En termes de paramètres discriminants, les cinq premiers rangs sont occupés par seulement huit variables pour l'ensemble des trois saisons. De ces variables, seule l'alcalinité figure à toutes les saisons. Le printemps est dominé par des paramètres reliés au débit de l'eau et au lessivage des sols (résidus, turbidité, phosphore, fer) alors que les autres saisons sont dominées par des paramètres de minéralisation (alcalinité, conductivité, calcium, sulfates). Nous avons vu que les résidus, le phosphore et le fer sont reliés entre eux, de même que l'alcalinité, la conductivité et le calcium. Cela fait que dans une analyse conduite par étape, où les paramètres sont entrés par ordre de contribution exclusive à la variabilité totale, des paramètres peu variables comme le carbone organique ou le zinc apparaissent souvent dès la troisième étape.

En termes de masses d'eau, l'analyse discriminante confirme la parenté entre les groupes homogènes retrouvés dans les eaux vertes, ou entre ceux retrouvés dans les eaux brunes. Les groupes situés dans les eaux mélangées sont reliés à ceux des eaux vertes. À l'intérieur des eaux brunes, il existe une distinction entre les eaux de la rivière L'Assomption et celles des autres rivières. Cette divergence serait due aux sources de polluants dans ces deux types d'eau, soit les rejets agricoles surtout dans le cas de la rivière L'Assomption, et les rejets des usines de pâtes et papiers surtout dans le cas des autres rivières.

L'analyse discriminante faite sur les groupes de stations identifiés par l'analyse en composantes principales ou la classification ascendante

Tableau 5. Paramètres discriminants et grandes masses d'eau identifiés pour chaque saison à l'aide d'analyses discriminantes sur les groupes homogènes généraux

Saison	Variables les plus discriminantes prises individuellement	Fonctions discriminantes significatives	Fonctions retenues*	Variance expliquée (%)	Masses d'eau identifiées
Printemps	Résidus, turbidité, phosphore, fer, alcalinité	6	2	86	A & B, C & D, E & F & G & H, I
Été	Conductivité, alcalinité, calcium, sulfates, phosphores	3	2	94	A & B, C, D & E
Automne	Alcalinité, sulfates, calcium, conductivité, fer	5	3	89	D & F, E, A & B & C

* Les fonctions discriminantes étaient retenues par ordre de contribution à l'explication de la variabilité totale juqu'à ce qu'elles ne soient associées à aucun paramètre en particulier.

hiérarchique montre la domination des indices de minéralisation dans la définition de zones homogènes de qualité de l'eau. Ces zones sont associées aux masses d'eau naturelles ("eaux vertes" ou "eaux brunes"), mais semblent peu reliées aux problèmes de dégradation chimique des eaux causés par des apports de nutriments, de métaux lourds ou de composés organiques toxiques. C'est pourquoi nous avons procédé à deux autres séries de groupements saisonniers, soit une pour les nutriments (carbone organique, azote Kjeldahl, nitrites et nitrates et phosphore) et une autre pour les métaux (fer, manganèse, zinc, cuivre, nickel et plomb). Des groupements n'ont pu être calculés pour les composés organiques, parce que ces derniers n'ont été mesurés qu'à 27 stations.

4.3.4 Groupements homogènes pour les nutriments, par saison

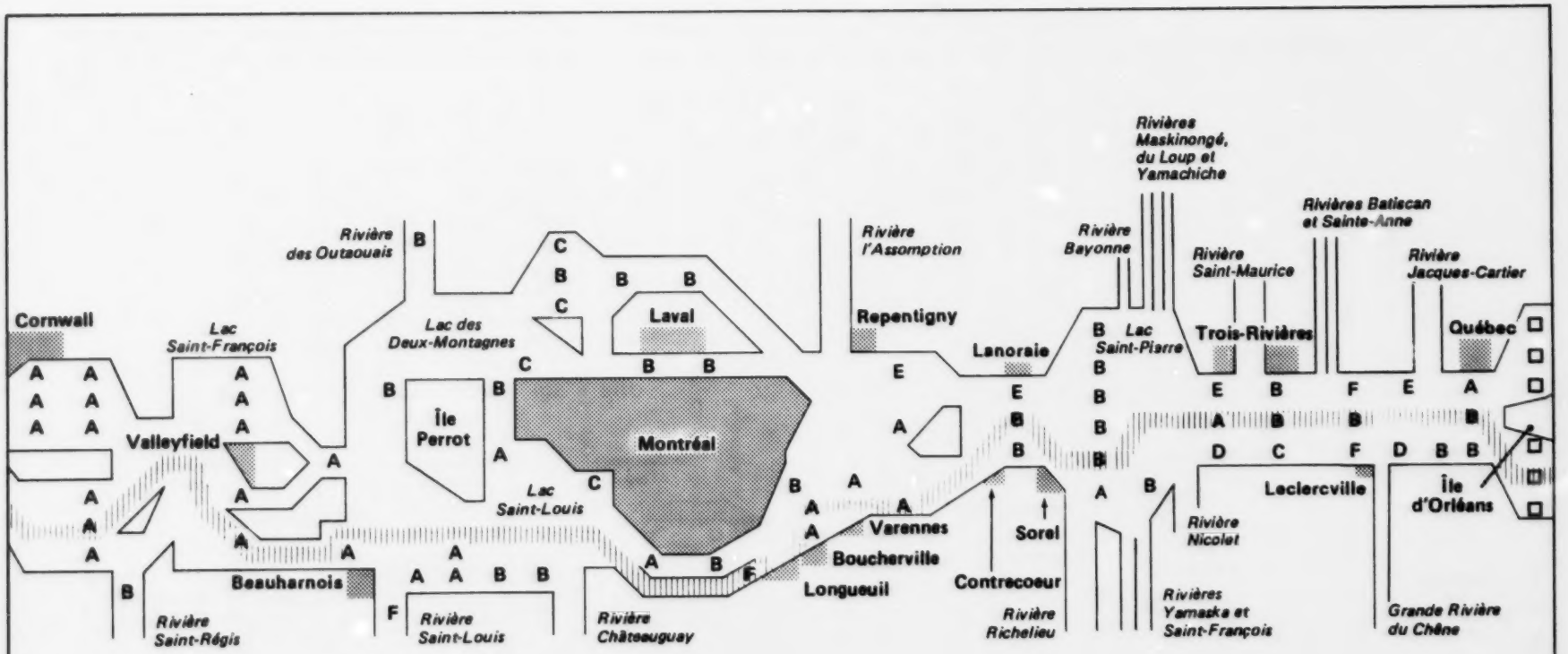
Un apport excessif de nutriments dans le milieu aquatique peut avoir une série d'impacts indésirables sur la navigation et les activités récréatives (croissance en excès des populations de macrophytes ou de fleurs d'eau), l'eau potable (colmatage des prises d'eau) et la vie aquatique (appauvrissement en oxygène provoqué par la respiration ou la décomposition des algues). Les trois éléments nutritifs à surveiller sont le carbone, l'azote et surtout le phosphore. Les quatre indices retenus pour les nutriments sont le carbone organique total, l'azote total Kjeldahl, les nitrites et nitrates et le phosphore total. Le carbone organique total est un indice de productivité biologique (i.e. d'usage de nutriments) alors que les autres paramètres sont des indices de nutriments présents dans le système aquatique. Nous avons vu dans la section 4.2.1 que les quatre paramètres sont peu liés entre eux, à l'exception de l'azote total Kjeldahl et du phosphore. On s'attend donc à ce que les groupes définis à partir de ces paramètres soient diversifiés et liés, tantôt à un paramètre, tantôt à un autre.

Printemps

Les résultats de l'analyse en composantes principales et de la classification ascendante hiérarchique pour les données du printemps sont illustrés à la figure 12. Le groupe A représente les eaux des Grands Lacs, qui se maintiennent via la voie maritime jusqu'à Trois-Rivières. On y retrouve les concentrations de nutriments les plus basses et une productivité biologique moyenne. Le groupe B représente les stations des eaux brunes, plus riches en nutriments, de même que celles des eaux vertes ayant subi des apports de la rive sud, du sud du lac Saint-Louis jusqu'à Québec. Le groupe C représente les eaux brunes qui ont été enrichies: ouest de Montréal, et alentours de l'île Bizard. Le groupe D comprend deux stations de la rive sud, à l'est de Trois-Rivières, situées dans des herbiers et dominées par une forte productivité. Le groupe E est riche en phosphore, mais pauvre en carbone organique; on y retrouve les eaux brunes de la rivière L'Assomption, ou d'autres rivières de la rive nord de Trois-Rivières à Portneuf. Enfin le groupe F réunit arbitrairement les stations à caractère individuel qui ont une productivité moyenne, mais les concentrations en nutriments les plus élevées. On y retrouve la station de la rivière Saint-Louis, en aval d'un complexe industriel, et deux stations de Leclercville, dans une zone de brassage des eaux. Bref, les groupes C à F correspondent ici à des zones soumises à des apports en éléments nutritifs, et couvrent 20% des stations.

Été

Les résultats des analyses de groupement pour l'été sont décrits à la figure 13. Contrairement à l'analyse faite avec l'ensemble des paramètres, la diversité ici est plus grande qu'au printemps. Paradoxalement, les concentrations sont plus petites, puisque les nutriments sont utilisés par les organismes aquatiques; la productivité reste cependant du même ordre. Un total de huit groupes ont été définis. Le groupe A comprend à lui seul le tiers des stations. Il caractérise les eaux riches en azote total et nitrites et nitrates. On le retrouve dans toutes les grandes masses d'eau, de Cornwall jusqu'à l'île d'Orléans. Le groupe B est très près statistiquement du

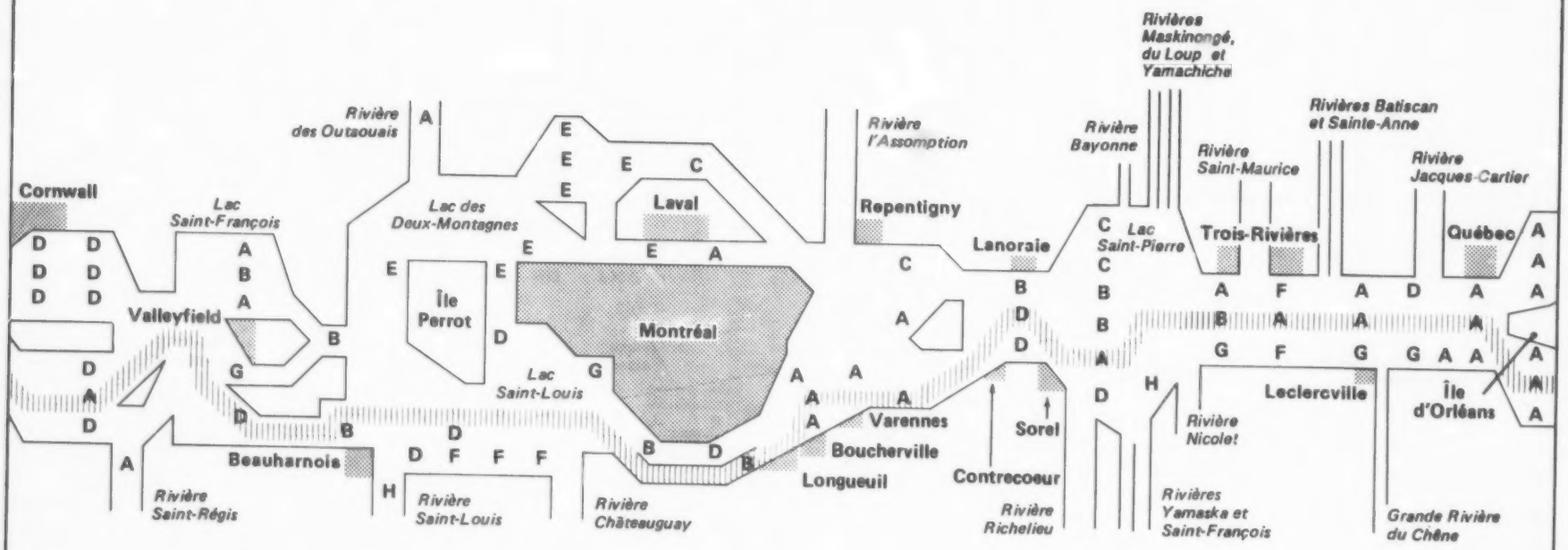


GROUPE	N	COT	NTK	NIT	PHO
A	29	10,6	0,225	0,220	0,016
B	28	10,0	0,316	0,294	0,058
C	4	10,5	0,453	0,260	0,062
D	2	14,3	0,381	0,475	0,111
E	5	8,6	0,380	0,476	0,174
F	3	9,7	0,526	0,997	0,293

Pas de donnée

Voie maritime

Figure 12
Distribution spatiale des **groupes homogènes** de stations définis par les **nutriments** durant le **printemps**, d'après une analyse en composantes principales et une classification ascendante hiérarchique. Le tableau présente les moyennes pour chaque groupe.



GROUPE	N	COT	NTK	NIT	PHO
A	27	9,4	0,214	0,120	0,028
B	10	10,6	0,283	0,146	0,036
C	3	8,2	0,300	0,128	0,065
D	17	13,4	0,234	0,102	0,017
E	8	4,8	0,254	0,085	0,029
F	5	12,3	0,237	0,010	0,018
G	5	11,2	0,247	0,052	0,018
H	2	9,2	0,494	0,055	0,145

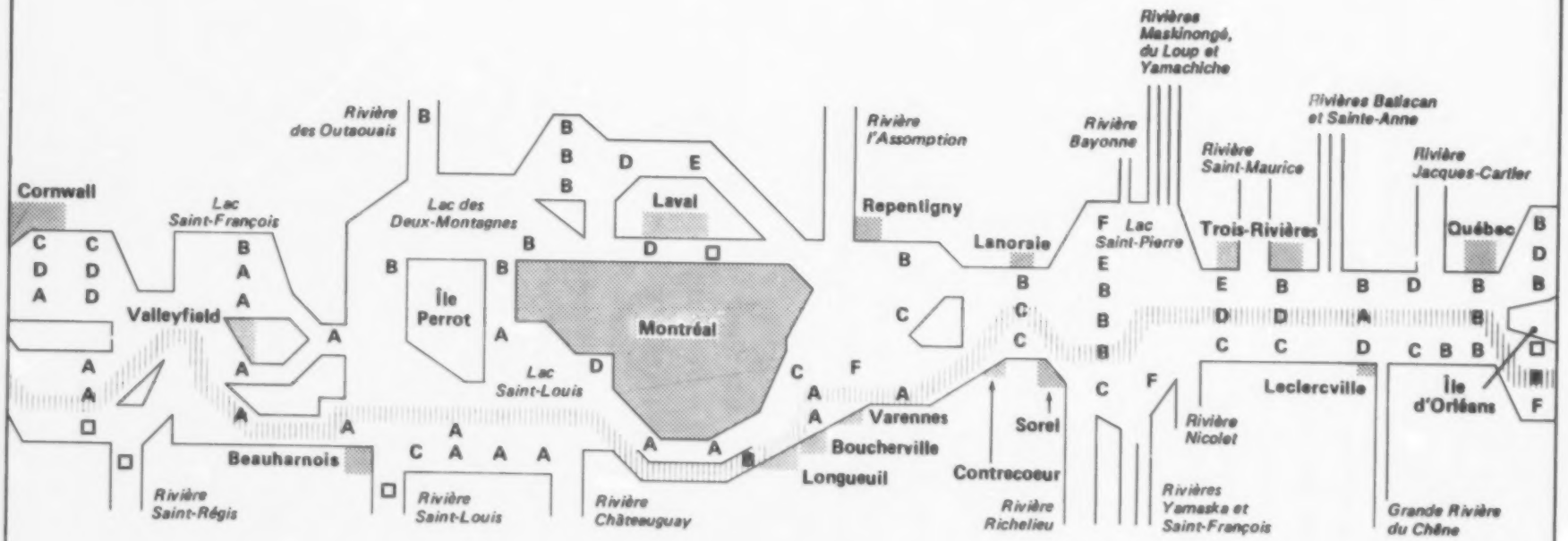
Figure 13
Distribution spatiale des **groupes homogènes** de stations définis par les **nutriments** durant l'**été**, d'après une analyse en composantes principales et une classification ascendante hiérarchique. Le tableau présente les moyennes pour chaque groupe.

groupe A et montre des concentrations un peu plus élevées surtout pour les nitrites et nitrates. On le retrouve à Valleyfield, à Trois-Rivières en alternance avec le groupe A, dans les eaux vertes surtout, et dans les eaux brunes de la rivière L'Assomption. Le groupe C est fort en phosphore et faible en carbone organique. On le retrouve dans les eaux de la rivière L'Assomption et de la rivière des Mille Iles. Le groupe D est caractérisé par une forte production biologique et de faibles quantités de nutriments disponibles. C'est le cas des eaux de la région de Cornwall surtout, mais aussi dans les eaux vertes jusqu'à la hauteur de Portneuf. Le groupe E est caractérisé par une faible productivité biologique. On le retrouve dans le lac des Deux Montagnes. Le groupe F présente une forte productivité biologique associée à de faibles teneurs en nitrites et nitrates et phosphore. On le retrouve dans les deux types d'eaux, en aval de tributaires affectés par des rejets agricoles ou industriels. Le groupe G est un proche parent du groupe F. Il est plus riche en nitrites et nitrates. On le retrouve à trois stations de la rive sud entre Trois-Rivières et Leclercville, de même qu'à Valleyfield et dans la baie de Valois, des sites près de rejets d'égouts ou d'effluents agricoles. Le groupe H est celui des stations individuelles. On y retrouve des valeurs maximales pour l'azote Kjeldahl et le phosphore total. Ce groupe est formé des stations de la rivière Saint-Louis et de Nicolet.

Bref, durant l'été, les conditions de base en éléments nutritifs et productivité biologiques sont couvertes par les groupes A, B, D et E, tandis que les quatre autres groupes mettent en évidence des zones altérées par des apports de source diffuse ou ponctuelle, avec 20% des stations.

Automne

Les résultats des analyses de groupements pour l'automne sont décrits à la figure 14. À l'automne, on retrouve comme au printemps une classification des stations en six groupes homogènes. Le groupe A est formé par les stations à basses teneurs en nutriments et en carbone organique. Elles prédominent dans les "eaux vertes" de Cornwall à Varennes. Le groupe B est plus riche, avec une productivité faible, et prédomine dans les "eaux



GROUPE	N	COT	NTK	NIT	PHO
A	20	3,5	0,209	0,152	0,013
B	23	5,6	0,270	0,164	0,045
C	11	13,2	0,232	0,147	0,020
D	11	8,5	0,242	0,166	0,024
E	3	8,0	0,351	0,417	0,062
F	4	8,0	1,718	0,410	0,044

Pas de donnée

Voie maritime

Figure 14
Distribution spatiale des **groupes homogènes** de stations définis par les **nutriments** durant l'**automne**, d'après une analyse en composantes principales et une classification ascendante hiérarchique. Le tableau présente les moyennes pour chaque groupe.

brunes" et "mélangées". Le groupe C s'apparente au groupe A, mais présente les concentrations les plus élevées en matière organique et un enrichissement en phosphore. On le retrouve dans les eaux affectées par des égouts municipaux, dans les eaux vertes, surtout entre Varennes et Portneuf. Le groupe D est un peu plus enrichi que le groupe C, mais avec une production biologique moyenne. On le retrouve souvent de pair avec ce dernier groupe dans des zones affectées par des rejets domestiques ou industriels: Cornwall, baie de Valois, rivière des Prairies et Mille Iles, Portneuf, île d'Orléans (nord). Le groupe E est caractérisé par les valeurs les plus élevées pour les nitrites et nitrates et le phosphore; il ne regroupe que trois stations en aval d'apports, à la rivière des Mille Iles, aux îles de Sorel et à Trois-Rivières. Enfin, le groupe F est celui des maxima en azote Kjeldahl et nitrites et nitrates. C'est un regroupement arbitraire des quatre stations à caractère individuel. Les valeurs élevées de nutriments sont associées à des apports locaux.

Bref, durant l'automne, les groupes A et B peuvent être associés au niveau de base des concentrations dans le fleuve, tandis que les quatre autres semblent plutôt réfléter un enrichissement par des sources locales ou diffuses associées aux rejets municipaux, aux industries ou à l'agriculture. Ces derniers groupes incluent 40% des stations.

Paramètres discriminants

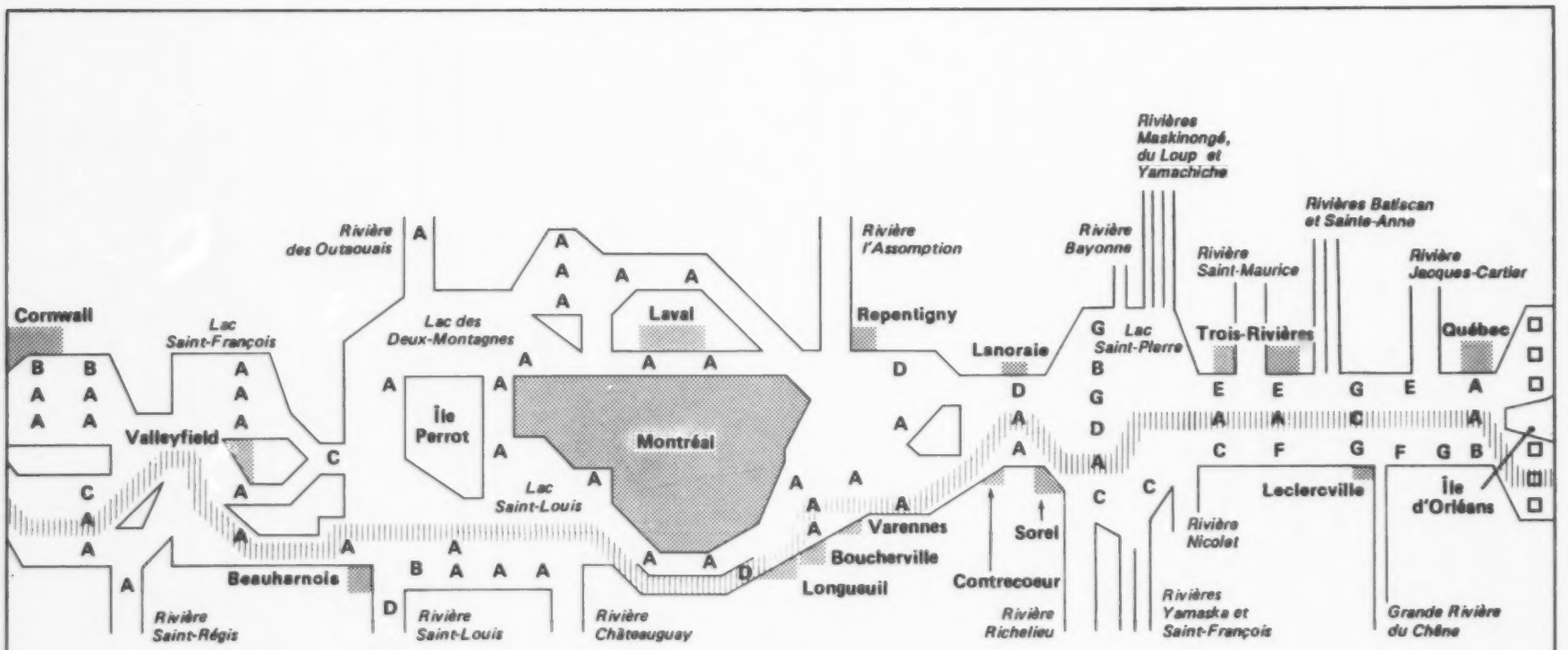
Les fonctions discriminantes calculées à partir des résultats de groupements indiquent que les paramètres les plus discriminants parmi les nutriments sont le phosphore au printemps et en été, et le carbone organique total en automne. L'absence de l'azote total Kjeldahl et des nitrites et nitrates confirme leur faible pouvoir discriminant déjà évoqué pour les groupes homogènes généraux (section 4.3.3). Voyons maintenant comment se comporte l'autre groupe important de polluants: les métaux.

4.3.5 Groupements homogènes pour les métaux, par saison

Tous les métaux sont naturellement présents dans le milieu aquatique, parfois en quantité appréciable (fer) mais le plus souvent à l'état de traces. Les concentrations de divers métaux sont mesurées parce qu'ils sont rejetés par les activités humaines, et qu'ils deviennent toxiques dès que leur concentration s'élève (section 3.4). Six métaux ont été utilisés ici pour des analyses de groupements, soit le fer, le manganèse, le cuivre, le zinc, le nickel et le plomb. Le comportement de ces paramètres est différent de celui des nutriments. D'abord, leurs concentrations sont liées aux paramètres physiques, dont les solides en suspension (section 4.2.1). Cela est dû à ce que c'est la forme "totale" qui est mesurée ici. De plus, les concentrations de tous les métaux sont interreliées. Enfin, comme les concentrations mesurées sont souvent près du seuil de détection (manganèse, nickel et plomb surtout), la moindre valeur élevée a un effet important sur la classification de la station.

Printemps

Pour cette saison, nous avons identifié sept groupes homogènes dans le fleuve. Ils sont décrits à la figure 15. Le groupe A est celui "du bruit de fond" naturel; il inclut à lui seul les deux tiers des stations, tant dans les eaux brunes que dans les eaux vertes, de Cornwall à Québec. Les concentrations pour tous les métaux sont minimales. Le groupe B montre des concentrations un peu plus élevées. On le retrouve en aval de zones de rejets: la rive nord de Cornwall, la rive sud du lac Saint-Louis, celle de Québec et le delta de Sorel. Le groupe C est un peu plus riche encore. On le retrouve un peu partout dans des zones de hauts-fonds ou de brassage. Le groupe D est plus riche que C en fer et manganèse. On le retrouve dans les zones contaminées par des rejets: la rivière Saint-Louis (rejets industriels), la rive nord en aval de la rivière L'Assomption (rejets agricoles et urbains) et le petit bassin de Laprairie (rejets agricoles et urbains), associés à des taux élevés de solides en suspension. Le groupe E est plus riche que le groupe D en fer, manganèse, zinc et plomb. Il couvre



GROUPE	N	MN	FE	NI	CU	ZN	PB
A	45	14	519	1	1	4	P1
B	5	32	836	P1	1	11	1
C	6	27	1253	4	4	7	2
D	5	50	3046	4	4	12	2
E	3	83	3433	3	4	15	3
F	2	80	2670	6	4	11	2
G	5	98	4068	6	9	22	6

□ Pas de donnée

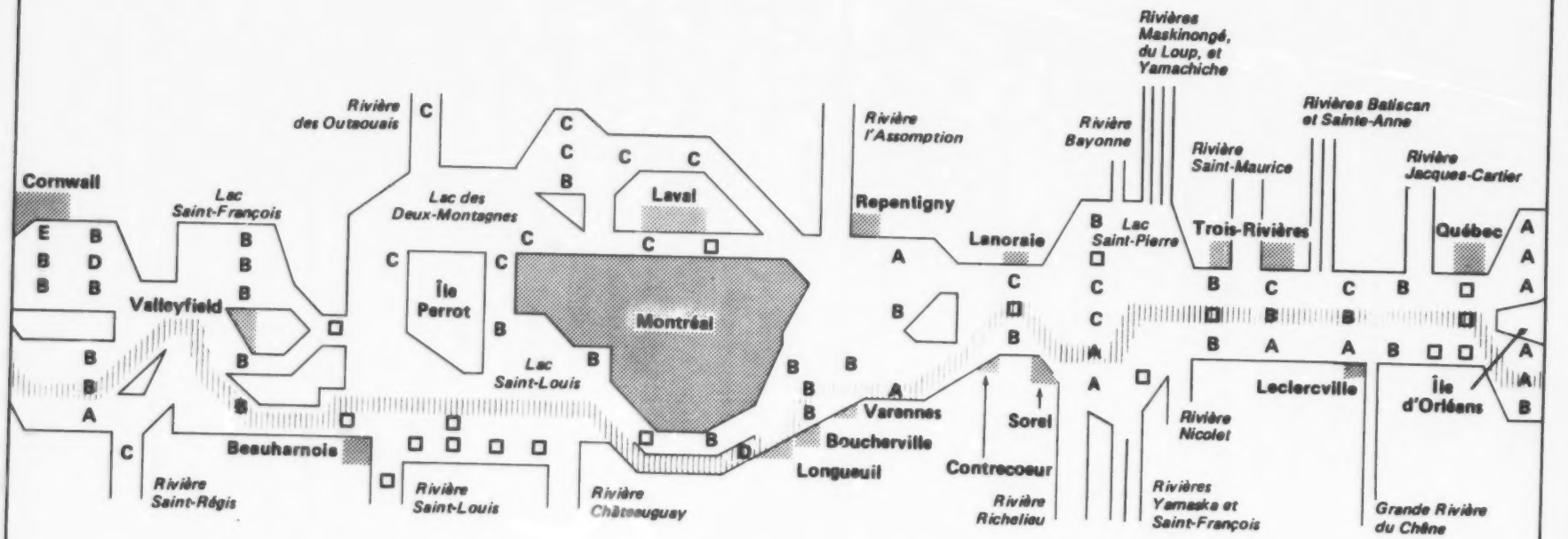
Voie maritime

Figure 15
Distribution spatiale des **groupes homogènes** de stations définis par les **métaux** durant le **printemps**, d'après une analyse en composantes principales et une classification ascendante hiérarchique. Le tableau présente les moyennes pour chaque groupe.

les eaux près de la rive nord, de Trois-Rivières à Portneuf, en aval de stations du groupe D et des stations aux concentrations les plus élevées en métaux (groupe G). Le groupe F ne comprend que deux stations, plus riches que E en nickel et en manganèse. On les retrouve près de la rive sud à Bécancour et Leclercville en aval de stations du groupe C et des stations aux concentrations les plus élevées en métaux (groupe G). Le groupe G est celui des stations à caractère individuel où sont mesurées les concentrations maximales pour un ou plusieurs métaux: delta de Sorel, Leclercville, Lévis. Mis à part le cas de Lévis, où l'échantillon était contaminé parce que collecté à même une prise d'eau, toutes les autres stations de ce groupe montrent des teneurs très élevées de solides en suspension, et l'absence d'une source locale de rejets. Au printemps donc, des teneurs élevées en métaux ne sont pas synonymes de contamination, mais peuvent être plutôt le reflet de charges élevées en solides. Si nous considérons le groupe A comme étant celui du bruit de fond et le groupe G comme le reflet de conditions naturelles particulières, les 30% de stations restantes seraient affectées par des sources de pollution.

Été

Le portrait des zones homogènes est plus difficile à décrire l'été à cause de la faible variabilité des résultats et de l'absence de données pour 18 stations. Cinq groupes ont été identifiés; ils sont décrits à la figure 16. Le groupe A comprend 11 stations caractérisées par des teneurs moyennes de tous les métaux. Il représenterait une eau légèrement enrichie; on le retrouve d'ailleurs surtout en aval de Trois-Rivières près de la rive sud, et à l'île d'Orléans. Le groupe B est le plus important; c'est celui du bruit de fond, avec des concentrations minimales pour tous les paramètres. On le retrouve dans les eaux vertes de Cornwall jusqu'à Portneuf. Le groupe C est plus riche que le groupe B en fer et manganèse, et représenterait le bruit de fond pour les eaux brunes, du lac des Deux Montagnes jusqu'à Leclercville. Le groupe D est caractérisé par des teneurs élevées en plomb et compte deux stations à Cornwall et à la sortie du petit bassin de Laprairie, en aval d'effluents urbains. Le groupe E est une combinaison des deux stations à



GROUPE	N	MN	FE	NI	CU	ZN	PB
A	12	14	266	2	2	3	P1
B	28	9	146	P1	1	2	P1
C	15	31	399	P1	1	2	P1
D	2	8	205	1	2	2	3
E	2	30	630	2	3	7	2

□ Pas de donnée

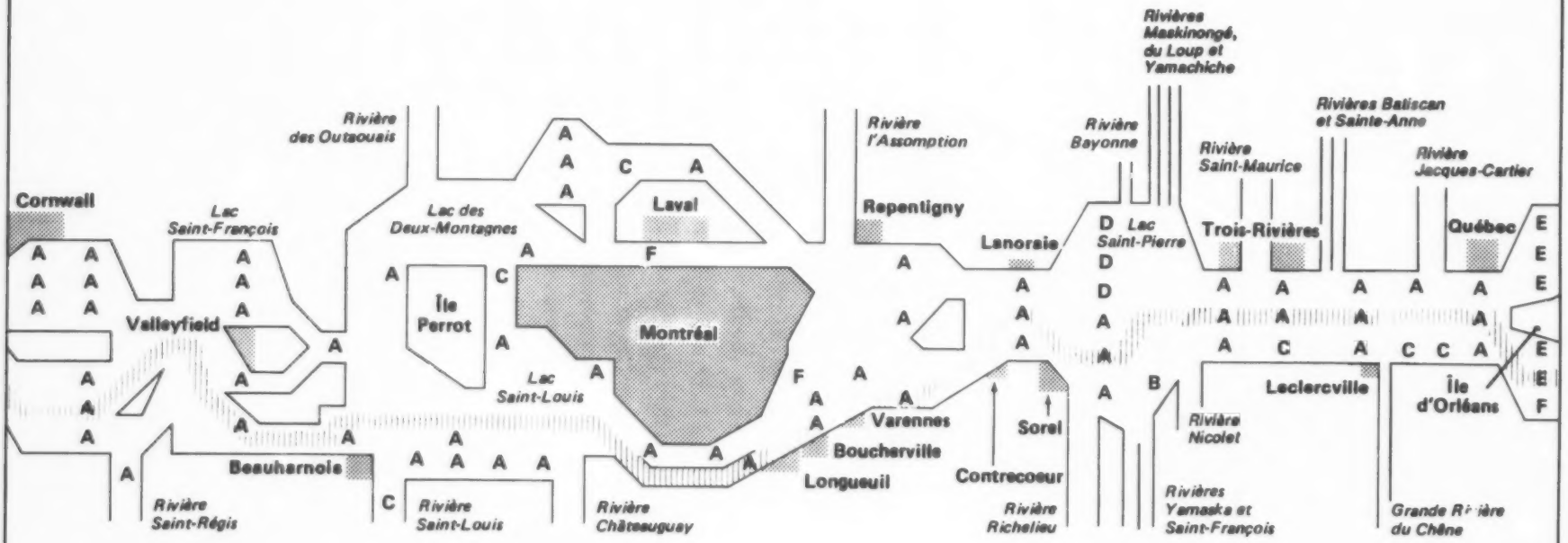
Voie maritime

Figure 16
Distribution spatiale des **groupes homogènes** de stations définis par les **métaux** durant l'**été**, d'après une analyse en composantes principales et une classification ascendante hiérarchique. Le tableau présente les moyennes pour chaque groupe.

caractère individuel, soit une station à Cornwall, qui ressort par des teneurs élevées en cuivre et en zinc en aval d'un effluent industriel, et une autre à Sorel, riche en métaux en général, associés à une teneur élevée en solides en suspension. Si nous considérons les groupes B et C comme ceux formant le bruit de fond, et que nous y ajoutons une station du groupe G pour la même raison qu'au printemps, cela fait environ 25% des stations qui seraient altérées par des rejets en métaux.

Automne

Pour l'automne, le comportement des stations ressemble à celui du printemps. Nous avons identifié un total de six groupes homogènes distincts, illustrés à la figure 17. Le groupe A compte à lui seul les trois quarts des stations et couvre tant les eaux brunes que les eaux vertes, de Cornwall à Québec. Il représente le "bruit de fond" naturel. Le groupe B se caractérise par une concentration élevée en zinc; il compte une station dans la rivière des Prairies, en aval de rejets d'égout, et une autre à Nicolet caractérisée par une teneur élevée en résidus. Le groupe C montre des teneurs en métaux deux fois plus élevées que celles du groupe A. On le retrouve sur la rive sud entre Trois-Rivières et Québec, à la sortie du lac des Deux Montagnes et à l'embouchure de la rivière Saint-Louis, en aval de stations du groupe A. Le groupe D est le plus riche en fer, en manganèse et en zinc, à cause de fortes teneurs en solides en suspension. Il représente trois stations des îles de Sorel. Le groupe E représente les stations de l'île d'Orléans qui se caractérisent par des concentrations élevées en nickel, cuivre, zinc et plomb. Le groupe F est la combinaison des trois stations à caractère individuel: celle dans la rivière des Prairies est très riche en cuivre, celle de Pointe-aux-Trembles est très riche en nickel et en cuivre et située en aval d'une usine de traitement du cuivre; celle de l'île d'Orléans est très riche en fer, nickel, zinc et plomb, pour une concentration moyenne en résidus totaux. Cette station est située en aval d'un chantier maritime et d'un égout municipal. En résumé pour l'automne, si nous considérons les stations des groupes A et D comme représentatives des conditions naturelles, il subsiste 22% des stations qui seraient altérées par des rejets en métaux.



GROUPE	N	MN	FE	NI	CU	ZN	PB
A	57	10	256	1	2	3	P1
B	2	15	250	1	2	108	P1
C	7	27	563	3	6	5	1
D	3	30	617	2	4	106	1
E	5	10	388	4	5	68	3
F	3	15	345	3	36	60	4

Figure 17
Distribution spatiale des **groupes homogènes** de stations définis par les **métaux** durant l'**automne**, d'après une analyse en composantes principales et une classification ascendante hiérarchique. Le tableau présente les moyennes pour chaque groupe.

Paramètres discriminants

Un bilan des analyses discriminantes produites pour chaque saison montre que les métaux les plus discriminants sont le zinc pour le printemps et l'automne, et le nickel l'été. On ne peut toutefois en tirer des principes pour de futures classifications, à cause de la concentration des stations dans pratiquement un seul groupe à chaque saison.

5.0 DISCUSSION

Nous allons reprendre ici les trois approches développées pour l'analyse des stations, à savoir la variabilité saisonnière, les relations entre paramètres et les relations entre stations, pour faire une comparaison des résultats obtenus selon diverses méthodes, pour établir les limites à l'intérieur desquelles ces interprétations sont valables et pour comparer les résultats avec ceux retrouvés dans la littérature.

5.1 Variabilité saisonnière

L'analyse de variance a révélé que les trois quarts des paramètres étudiés suivaient une variabilité saisonnière. En divisant les données selon quatre saisons à partir du cycle hydrologique du fleuve, nous avons identifié la température et les nitrites et nitrates comme de bons indices pour différencier ces saisons. La majorité des paramètres montrent toutefois un patron bi-saisonnier, où c'est le printemps, associé à la fonte des neiges et au lessivage des sols, qui se distingue du restant de l'année. On retrouve un tel patron pour les caractéristiques physiques et les métaux totaux, alors que les ions principaux ne montrent pas de variabilité et que les nutriments et les composés organiques ont des comportements variés.

La variabilité saisonnière semble avoir peu d'influence sur les relations entre paramètres, tel qu'observé par l'analyse en composantes principales, mais influence les relations entre stations, comme le montrent le nombre et la répartition des groupes homogènes de stations définis pour la qualité générale de l'eau.

5.2 Relations entre paramètres

Plusieurs des paramètres mesurés sont fortement liés entre eux. Les résultats des analyses en composantes principales et des calculs de corrélation concordent. Nous observons une forte relation entre les ions principaux ou les indices de minéralisation, de même qu'entre les métaux totaux. Les métaux sont à leur tour liés aux caractéristiques physiques. Les nutriments et les composés organiques sont peu liés entre eux.

Comme les relations entre paramètres ont été mesurées à partir de l'ensemble des données du fleuve, il est probable qu'elles sont moins fortes au niveau de chaque station, parce que la variabilité de chaque paramètre y est moins grande. On n'a qu'à se rappeler, entre autres, les différences entre les zones homogènes de qualité de l'eau identifiées. D'ailleurs le fait que plusieurs paramètres soient liés entre eux peut influencer la définition des groupes homogènes de stations. Nous avons amenuisé cet effet en sélectionnant les paramètres pour les analyses de groupement de façon à ce qu'ils soient distribués en nombres égaux par catégorie de variables interreliées. L'existence de ces groupes de paramètres fortement interreliés fait aussi qu'on peut envisager de remplacer chaque groupe par un représentant seulement, lorsqu'on désire optimiser le réseau de surveillance. Ce sera l'objet d'un autre rapport.

5.3 Relations entre stations

Dans cette section, nous allons d'abord comparer les résultats de nos analyses de groupement à ceux de la littérature et les expliquer. Nous allons ensuite comparer les groupements identifiés à des zones définies à partir de bassins hydrographiques. Les groupements identifiés vont également être réunis en zones homogènes pansaisonnières. Enfin nous allons faire le bilan de ce que les analyses de groupements pour les nutriments et les métaux révèlent sur la pollution et les sources de contamination du fleuve.

5.3.1 Comparaison des groupements obtenus avec ceux d'autres études

Nous avons testé la qualité de certaines variables physico-chimiques mentionnées dans la littérature pour leur pouvoir de discrimination des groupes généraux identifiés à l'aide de 19 paramètres. À l'inverse, nous avons également vérifié dans quelle mesure on pouvait recréer des groupements connus issus d'études sur le fleuve Saint-Laurent, à partir des données actuelles. Deux études ont ainsi été comparées à la nôtre, soit celle de Germain et Janson (1984) et celle de Lachance et al. (1979).

Groupements selon Germain et Janson (1984)

Germain et Janson (1984) ont utilisé les médianes historiques des valeurs de conductivité pour l'identification de groupes homogènes dans le fleuve. Une analyse discriminante de la conductivité conduite pour les groupes définis à l'aide de l'ensemble des paramètres a donné le taux de succès de classification suivants pour les 48 stations comparables à celles de Germain et Janson (1984): 18% au printemps, 65% en été et 62% en automne. Il semble donc que la conductivité soit applicable à la classification des stations surtout dans les périodes où les systèmes sont stables (e.g. l'été) et les masses d'eau bien définies. Mais on ne peut visiblement pas utiliser la conductivité seule pour classifier de façon satisfaisante les stations dans les groupes homogènes généraux.

À l'opposé de la première démarche, une analyse discriminante a été conduite à partir des donnees de conductivité du fleuve pour voir si on retrouverait les cinq groupes homogènes définis par Germain et Janson (1984). Les taux de succès obtenus dans la classification ont été de 55% au printemps, 77% à l'été et 66% à l'automne. Cela était prévisible. D'une part, la conductivité avait été identifiée comme la variable la plus discriminante pour les groupes homogènes généraux obtenus par l'analyse conduite sur les données de l'été. D'autre part, par comparaison avec le taux de succès obtenu

auparavant avec la conductivité dans les groupements homogènes généraux, ce taux est plus élevé, puisque les groupes sont moins nombreux.

Si nous tentons une classification des stations dans les groupes de Germain et Janson (1984) à partir des données de l'ensemble des paramètres pour chaque saison, les taux de succès obtenus sont maintenant de 92% au printemps, 90% l'été et 86% l'automne, ce qui est plus élevé qu'avec la conductivité seulement, et confirme que les groupements généraux sont très apparentés aux grandes masses d'eau, dont la conductivité est un bon indicateur. Nous en concluons que les cinq groupes de Germain forment un portrait plus grossier et plus pansaisonnier que celui obtenu avec l'ensemble des paramètres.

Groupements selon Lachance et al. (1979)

Un deuxième type de classification examiné a été celui de Lachance et al. (1979), qui ont divisé les eaux du fleuve en sept groupes homogènes à partir d'une série de stations échantillonnées pour la turbidité, les nitrites et nitrates et le phosphore inorganique à plusieurs reprises durant l'été de 1975 (Tessier et al., 1976). Nous avons d'abord classé les 43 stations comparables à celles de Lachance et al. (1979) à l'aide des 19 paramètres mesurés à chaque saison. Les taux de succès obtenus ont été de 91% au printemps, 95% l'été et 84% l'automne, ce qui se rapproche beaucoup de nos propres résultats.

Il faudrait toutefois nuancer ces résultats en précisant que, d'une part, seulement 43 des 77 stations échantillonnées en 1983 ont pu être directement comparées à celles de Lachance et al. (1979) et que, d'autre part, ces 43 stations n'ont été échantillonnées que l'été, et presque toutes près des rives. De plus, la projection des 77 stations sur l'espace défini par les deux premières fonctions discriminantes pour chaque saison montre qu'une fraction importante des stations non comparables se classent loin en dehors des groupes de Lachance et al. (1979). Cela laisse supposer qu'on ne peut efficacement classer tous les cas à l'aide de ces groupes.

Cette hypothèse est confirmée quand on refait l'analyse des groupes de Lachance et al. (1979) avec l'équivalent des trois paramètres utilisés originalement pour les définir, soit la turbidité, les nitrites et nitrates et le phosphore total. Les taux de succès ne sont plus que de 37% au printemps, 42% en été et 32% à l'automne. On se souviendra que dans la définition des groupes homogènes, la turbidité et le phosphore avaient un bon pouvoir discriminant au printemps, la turbidité en avait un l'été, et aucun n'en avait à l'automne. Il semble donc que les groupes définis par Lachance et al. (1979) ne soient applicables qu'à certains types d'eau, durant l'été. Le pouvoir discriminant des trois variables utilisées est bon mais limité, puisque si nous utilisons ces trois variables pour classer les stations dans les groupements généraux identifiés à l'aide de 19 paramètres, le taux de succès est de 70% au printemps, 72% l'été et 67% l'automne.

5.3.2 Groupements par bassin hydrographique

Comme les groupes homogènes généraux définis antérieurement sont associés aux grandes masses d'eau, nous avons fait l'hypothèse que les stations échantillonnées pourraient efficacement être regroupées arbitrairement selon les bassins hydrographiques définis dans le code utilisé pour chaque station à partir de la carte publiée par les relevés hydrographiques du Canada (Environnement Canada, 1978). Les stations échantillonnées en 1983 étaient distribuées sur un ensemble de 15 de ces bassins. Les taux de succès de classification obtenus par l'analyse discriminante ont été très faibles, ne dépassant pas 35%. Cela s'explique statistiquement par le fait que plusieurs bassins n'étaient représentés que par une ou deux stations, et cela s'explique conceptuellement par la façon même dont ont été définis ces bassins. Ces derniers ont été conçus pour faciliter la localisation de stations hydrographiques. On y retrouve souvent des bassins couvrant en fait plusieurs petites rivières, ou s'étendant en amont comme en aval de l'embouchure des rivières, et délimités par le centre du fleuve, sans qu'on ait vraiment tenu compte des grandes masses d'eau. Ce n'est donc pas un système de classification de stations applicable au fleuve pour la physico-chimie.

5.3.3 Définition de zones homogènes pansaisonnières

Il est intéressant de constater comment les groupes homogènes de stations changent au fil des saisons, mais si on veut en tirer une information utile pour l'optimisation du réseau de surveillance, il faut savoir utiliser ces groupes pour définir des zones homogènes de qualité de l'eau sur une base annuelle. Nous avons utilisé la distribution schématique des groupes homogènes généraux, de même que les grandes masses d'eau connues du fleuve et une analyse en composantes principales sur toutes les données (i.e. que chaque station y était représentée trois fois), pour identifier des zones homogènes pansaisonnières. Les huit zones résultantes sont illustrées à la figure 18. Voici une description sommaire de ces zones:

Zone A: Eaux vertes des Grands Lacs; c'est une zone très stable qui se maintient à toutes les saisons jusqu'à la sortie du lac Saint-François.

Zone B: Eaux brunes de la rivière des Outaouais; c'est une autre zone très homogène jusqu'à la sortie du lac des Deux Montagnes. Les eaux des rivières Des Prairies et des Mille Iles sont parfois affectées par des rejets urbains.

Zone C: Eaux mixtes de l'est du lac Saint-Louis; durant les périodes de crue, cette zone peut être rattachée aux eaux brunes, mais le plus souvent, la masse d'eau dominante est celle des eaux vertes.

Zone D: Eaux vertes de la région de Montréal; à partir du lac Saint-Louis, la qualité de l'eau des Grands Lacs se modifie lentement et se maintient jusqu'à Trois-Rivières via la voie maritime.

Zone E: Eaux brunes de la rivière L'Assomption; la présence d'activités agricoles intensives sur ce bassin fait se distinguer ces eaux brunes de celles de l'Outaouais. La zone se prolonge via

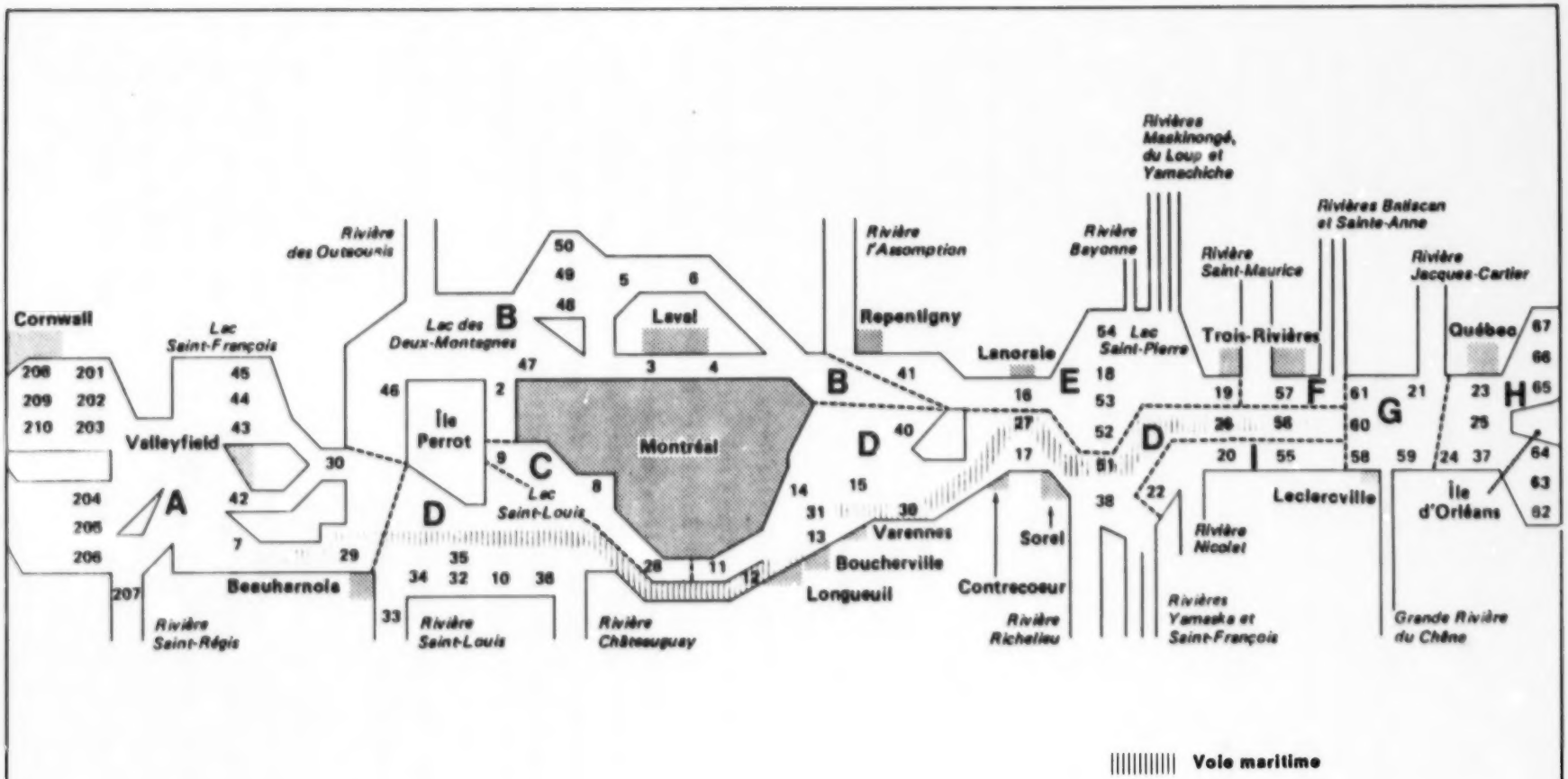


Figure 18
Distribution spatiale des neuf zones homogènes pansaisonnières de qualité de l'eau du fleuve Saint-Laurent, définies à partir des groupes homogènes généraux des trois saisons.

d'autres tributaires agricoles jusqu'à la sortie du lac Saint-Pierre. Les conditions sont localement modifiées dans la région du delta de Sorel.

Zone F: Eaux brunes du Saint-Maurice; ces eaux sont visiblement affectées par la concentration en usines de pâtes et papiers à l'embouchure de la rivière.

Zone G: Eaux mélangées de la région de Portneuf; c'est une zone très instable, où se fait le mélange des eaux sous l'effet de la marée. Les stations y ont un comportement individuel, ou se rattachent à d'autres zones en amont, selon les saisons.

Zone H: Eaux mélangées de la région de Québec; cette zone est celle des eaux bien mélangées qui se jettent dans l'estuaire.

Zone I: Eaux de la rive sud en aval du lac Saint-Pierre; à partir de la sortie du lac Saint-Pierre, dans un secteur où abondent les herbiers, les stations montrent des teneurs élevées en nutriments, métaux et solides en suspension. Les tributaires et la rive sont soumis à des rejets agricoles. La variabilité des conditions à chaque station est grande, si bien que cette zone a été définie de façon plus arbitraire que les autres.

5.3.4 Bilan sur la pollution et les sources de contamination en nutriments et en métaux

L'analyse discriminante a montré que les zones homogènes générales de qualité de l'eau définies précédemment sont associées aux grandes masses d'eau, aux caractéristiques physiques et à tous les paramètres de minéralisation. Mais comme nous l'avons vu dans les sections 4.3.4 et 4.3.5, ce portrait est différent lorsque les groupes sont définis par les concentrations en nutriments ou en métaux. Dans ces derniers cas, nous

retrouvons souvent un groupe principal correspondant au bruit de fond des concentrations de ces substances, et une série de petits groupes associés à des sites d'accumulation ou des sources ponctuelles ou diffuses de contaminants. Ces petits groupes accaparent de 20 à 40 pourcent des stations dans le cas des nutriments et de 20 à 30 pourcent dans le cas des métaux. Nous avons donc comparé les groupements obtenus pour chacune des saisons pour mettre en évidence les points chauds qui ressortent à plusieurs reprises au cours de l'année.

Dans le cas des nutriments, nous observons de façon générale un accroissement des concentrations de l'amont vers l'aval du fleuve. Mais certaines stations présentent des valeurs extrêmement élevées à toutes les saisons; c'est le cas des stations de la rive sud de Trois-Rivières à Leclercville, et de la rive nord à Portneuf, alors que les concentrations sont bien moindres en aval à Québec. On serait porté à croire que cette variation est causée par un effet de brassage puis de dilution des marées, mais tel n'est pas le cas puisque les stations situées dans la voie maritime ne montrent pas de concentrations élevées. Nous sommes plutôt d'avis que les maxima mesurés correspondent à un effet de rive, suite aux arguments présentés plus haut, et par le fait que les stations sont situées dans des zones d'herbiers peu profondes, où se déposent les sédiments. Les stations de ces zones montrent d'ailleurs des concentrations élevées en solides en suspension et en métaux. D'autres zones où on retrouve à plus d'une saison des concentrations anormalement élevées sont le delta de Sorel (apports de zones agricoles), la station de Nicolet (apports de rivières en milieu agricole), l'embouchure de la rivière Saint-Louis (rejets industriels), et la baie de Valois (rejets urbains).

Dans le cas des métaux, les points chauds annuels sont aussi situés sur la rive sud de Nicolet à Leclercville, mais on en retrouve en plus à l'île d'Orléans, en aval d'une zone peu contaminée (Min. Env. Qué., 1985). Nous ne pouvons expliquer ces résultats. Les autres secteurs où des maxima sont observés à plusieurs saisons sont l'embouchure de la rivière Saint-Louis (rejets industriels), la rive nord à Cornwall (rejets industriels et urbains),

la sortie du petit bassin de Laprairie (rejets urbains et agricoles) et en aval de la rivière L'Assomption (rejets agricoles).

CONCLUSION

À partir de l'analyse des résultats du réseau de surveillance en 1983, nous avons identifié des groupes de paramètres interreliés, qui demeurent les mêmes au fil des saisons. L'existence de tels groupes rend possible l'optimisation du réseau par la diminution du nombre de variables mesurées. Mais avant d'en arriver là, il faudra faire le bilan de l'utilité de chacun des paramètres mesurés, en termes statistiques (corrélation avec les autres variables, mais aussi utilité dans la détection de tendances à long terme), en termes écologiques (ce qu'ils nous permettent de savoir sur la qualité de l'eau) et en termes de gestion de l'eau (présence dans des normes ou des recommandations de qualité de l'eau).

Nous avons également identifié à partir des résultats des 77 stations des groupes de stations qui ont permis de délimiter des zones homogènes dans le fleuve. Comme les groupes généraux définis à partir de tous les paramètres mesurés réflètent surtout les grandes masses d'eau et leur minéralisation, nous avons défini de nouveaux groupes à partir des résultats pour des contaminants, soit les nutriments ou des métaux.

Les nouveaux groupes sont distribués de façon différente des premiers et montrent que de 20 à 40 pourcent des stations sont affectées par des apports de contaminants, selon les saisons. Ces groupements ont également permis d'identifier les zones de contamination ou d'accumulation dans le fleuve. La précision des résultats pour les métaux est cependant limitée à cause du nombre de résultats sous le seuil de détection. L'abaissement des seuils de détection depuis cette étude devrait permettre d'obtenir des informations plus précises si l'analyse de groupements était faite à nouveau. Une analyse des résultats pour les composés organiques devrait aussi être faite mais comme ces paramètres ne sont analysés qu'à une fraction des stations à chaque année, l'analyse devra se faire à partir de l'ensemble des données historiques.

Dans le cadre d'une optimisation du réseau de surveillance, l'identification de zones homogènes permettra de réduire le nombre de stations échantillonnées de façon routinière tout en obtenant un portrait général aussi valable. Les ressources dégagées pourraient être concentrées sur l'étude des points chauds identifiés ou de secteurs mal connus, comme c'était le cas du lac Saint-Pierre en 1983.

En termes de besoins futurs en information sur la qualité de l'eau du fleuve, comme la variabilité spatiale et saisonnière est maintenant connue, il faudrait se pencher sur les tendances dans la qualité de l'eau à long terme, puisque c'est le but initial du réseau. L'optimisation du réseau, en termes de pertinence des variables mesurées ou de fréquence d'échantillonnage nécessite aussi ce genre d'information pour pouvoir être complétée.

En dernier lieu, nous avons constaté dans cette étude que la distribution des résultats de la majorité des paramètres n'était pas normale, et qu'il était présentement difficile de se procurer des programmes informatiques appropriés pour l'analyse tant spatiale que temporelle de données de qualité de l'eau. C'est pourquoi nous recommandons que soit conçu pour nos besoins un système expert informatique basé sur des statistiques non paramétriques et permettant l'analyse tant spatiale que temporelle des données, ainsi que l'optimisation du réseau.

BIBLIOGRAPHIE

BOBÉE, B., Y. GRIMARD, M. LACHANCE et A. TESSIER, 1982. Nature et étendue de l'acidification des lacs du Québec. INRS-Eau, rapport scientifique no 140, 423 p., 3 annexes.

CARIGNAN, S. et H.H.D. ALVES, 1978. Contaminants de l'environnement dans la zone d'influence industrielle de la rivière Saint-Louis dans la région de Beauharnois. Environnement Canada, Service de la protection de l'environnement, Division de la protection écologique, Région du Québec. Série des rapports d'études des zones d'influence industrielle, Rapport no EPS-8-QR-78-1. 27 p.

COMITÉ DE COORDINATION DE LA CONVENTION CANADA-QUÉBEC SUR LA SURVEILLANCE CONTINUE DE LA QUALITÉ DES EAUX, 1984. Convention Canada-Québec sur la surveillance continue de la qualité des eaux. Rapport annuel 1983-1984. 90 p.

COMITÉ D'ÉTUDE SUR LE FLEUVE SAINT-LAURENT, 1978. Rapport final du Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent. Éditeur officiel du Québec, Québec. 293 p.

CONSEIL CANADIEN DES MINISTRES DES RESSOURCES ET DE L'ENVIRONNEMENT, 1987.. Recommandations pour la qualité des eaux au Canada. Document préparé par le groupe de travail sur les recommandations pour la qualité des eaux, Ottawa.

DÉSILETS, L., 1985. Available Statistical Packages at the Water Quality Branch Headquarters and Running Operations. Environment Canada, Direction générale des eaux intérieures, Direction de la qualité des eaux, Hull. 26 p. + 5 ann. (rapport inédit).

DIRECTION DE LA QUALITÉ DES EAUX, 1984. NAQUADAT, dictionnaire des codes paramétriques. Environment Canada, Direction générale des eaux intérieures, Direction de la qualité des eaux, Section des systèmes informatiques, Ottawa. 320 p.

DIRECTION DE LA QUALITÉ DES EAUX, 1983. Échantillonnage pour la qualité de l'eau. Environnement Canada, Direction générale des eaux intérieures, Direction de la qualité des eaux, Ottawa. 67 p.

EL-SHAARAWI, A. et K.R. SHAH, 1978. Statistical Procedures for Classification of a Lake. Environment Canada, Direction générale des eaux intérieures, Institut national de recherche en eaux, Centre canadien des eaux intérieures, Burlington, Ontario. Série scientifique, No 86. 9 p.

EL-SHAARAWI, A.H. et R.E. KWIATKOWSKI, 1977. A Model to Describe the Inherent Spatial and Temporal Variability of Parameters in Lake Ontario 1974. J. Great Lakes Res., Internat. Assoc. Great Lakes Res. 3 (3-4): 177-183.

ENVIRONNEMENT CANADA, 1985. Minimisation de l'impact environnemental de l'élimination de la neige dans les régions urbaines. Compte rendu d'un atelier tenu à Montréal, 11-12 juin 1984. Direction de la gestion des programmes, Ottawa. Publ. SPE/UP/1. 143 p.

ENVIRONMENT CANADA, 1981. Analytical Methods Manual (updated). Inland Waters Directorate, Water Quality Branch, Ottawa.

ENVIRONMENT CANADA, 1978. Québec - stations hydrométriques exploitées par la Division des relevés hydrologiques du Canada. Carte au 1: 2 000 000. Direction générale des eaux intérieures, Direction des ressources en eau.

GERMAIN, A. et M. JANSON, 1984. Qualité des eaux du fleuve Saint-Laurent de Cornwall à Québec (1977-1981). Environnement Canada, Direction générale des eaux intérieures, Direction de la qualtié des eaux, Région du Québec, Québec. 232 p.

GOUIN, D. et D. MALO, 1977. Étude de la qualité générale de l'eau. Rapport technique no 11. Soumis au Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent, par les Services de protection de l'environnement. Éditeur officiel du Québec. 363 p. + ann.

GOUVERNEMENT DU CANADA, 1978. Déclaration de la politique fédérale sur les eaux intérieures. Ottawa.

GROUPE DE TRAVAIL FÉDÉRAL-PROVINCIAL SUR LA QUALITÉ DES EAUX UTILISÉES À DES FINS RÉCRÉATIVES, 1983. Recommandations au sujet de la qualité des eaux utilisées à des fins récréatives au Canada. Ottawa. Publ. H46-20/1983 F. 84 p.

JANSON, M. et H. SLOTERDIJK, 1983. Données sur la qualité des eaux de surface - Fleuve Saint-Laurent - Québec - 1950-1980. Environnement Canada, Direction générale des eaux intérieures, Région du Québec, Longueuil. 251 p. et carte.

JANSON, M. et H. SLOTERDIJK, 1982. Données sur la qualité des eaux, fleuve Saint-Laurent, 1950-1980. Environnement Canada, Direction générale des eaux intérieures, Direction de la qualité des eaux, Ottawa, Canada. 159 p. + carte.

LACHANCE, M., B. BOBEE, et D. GOUIN, 1979. Characterization of the Water Quality in the Saint-Lawrence River: Determination of Homogeneous Zones by Correspondence Analysis. Water Resour. Res. 15(6): 1451-1462.

LAMARCHE, A. et L. VALLIÈRES, 1984. Inventaire des connaissances sur les sources de pollution dans le fleuve Saint-Laurent. Tronçon Cornwall - Sorel. Environnement Canada, Service de la protection de l'environnement, Région du Québec, Montréal. 67 p.

LEGENDRE, L. et P. LEGENDRE, 1984a. Écologie numérique. Tome 1: Le traitement multiple des données écologiques (2e édition). Collection d'écologie, No 12. Presses de l'Université du Québec, Québec. 260 p.

LEGENDRE, L. et P. LEGENDRE, 1984b. Écologie numérique. Tome 2: La structure des données écologiques (2e édition). Collection d'écologie, No 13. Presses de l'Université du Québec, Québec. 335 p.

LEGENDRE, P. et VAUDOR, 1983. Guide d'utilisation du progiciel R. Université de Montréal. (document inédit).

McNEELY, R.N., V.P. NEIMANIS et L. DWYER, 1980. Références sur la qualité des eaux. Guide des paramètres de la qualité des eaux. Environnement Canada, Direction générale des eaux intérieures, Direction de la qualité des eaux, Ottawa. 100 p.

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC, 1985. Le Saint-Laurent. Un fleuve à redécouvrir dans la région de Québec. Direction générale de l'assainissement des eaux, Direction des études du milieu aquatique, Sainte-Foy. 32 p.

NETER, J. and W. WASSERMAN, 1974. Applied Linear Statistical Models. R.D. Irwin, Homewood, Illinois.

NIE, N.H., C. HADLAI HULL, J.G. JENKINS, K. STEINBRENNER and D.H. BENT, 1975. SPSS' Statistical Package for the Social Sciences. 2nd ed. Toronto. McGraw-Hill. 675 p.

TESSIER, A., B. BOBEE, P.G. CAMPBELL, J.-P. VILLENEUVE, M. LACHANCE et R. ROBITAILLE, 1976. Analyse des données de qualité concernant les rives et les bilans de substances nutritives dans le fleuve Saint-Laurent. INRS-Eau, Rapport scientifique No 19, Québec. Rapport préparé pour les Services de la protection de l'environnement du Québec. 117 p. et 7 ann.

VALIQUETTE, L. et G. CROTEAU, 1983. Évaluation de la qualité des eaux de l'archipel de Montréal en 1981-82. Ministère de l'Environnement du Québec, Direction générale de l'amélioration et de la restauration du milieu aquatique, Direction des ouvrages hydrauliques, Service des études hydrauliques et écologiques, Québec. 193 p.

WHITLOW, S. et M. LAMB, 1983. NAQUADAT - Guide de recherche interactive. Environnement Canada, Direction générale des eaux intérieures, Direction de la qualité des eaux, Ottawa. 67 p.

ANNEXE 1

LISTE DES STATIONS ÉCHANTILLONNÉES DANS LE FLEUVE SAINT-LAURENT EN 1983-1984

Source: Convention Canada - Québec sur la surveillance continue de la qualité des eaux. Rapport annuel 1983-1984

LOCALISATION DES STATIONS DU RÉSEAU DU FLEUVE SAINT-LAURENT

Numéro de la station No HAQUADAT	DESCRIPTION DE LA STATION	FRÉQUENCE D'ÉCHANTILLONNAGE
00QU020G9038	Fleuve Saint-Laurent en face de la marina de Sainte-Anne-de-Sorel (voie navigable)	3
01QU020D9022	Fleuve Saint-Laurent, lac Saint-Pierre au quai de la Défense nationale à Nicolet, coin ouest de la petite galerie	3
00QU02NG9019	Fleuve Saint-Laurent sous le pont Laviolette à Trois-Rivières côté nord entre le deuxième et le troisième pilier	3
00QU020D9026	Fleuve Saint-Laurent au centre du pont Laviolette à Trois-Rivières (voie navigable)	3
00QU020D9020	Fleuve Saint-Laurent sous le pont Laviolette à Trois-Rivières, côté sud, entre le deuxième et le troisième pilier	3
00QU02PC9021	Fleuve Saint-Laurent au quai de Portneuf, coin sud-ouest	3
00QU02PD9023	Fleuve Saint-Laurent au quai de Québec sur le traversier face à Lévis	3
00QU02PC9060	Fleuve Saint-Laurent, voie navigable, près de la bouée rouge D12 en face de Leclercville	3
00QU02PC9061	Fleuve Saint-Laurent, à 30 m du quai de Saint-Laurent, à 30 m du quai de Saint-Charles-de-Grondines	3
00QU02PH9062**	Fleuve Saint-Laurent entre l'île d'Orléans et la rive sud (partie sud)	2
00QU02PH9063**	Fleuve Saint-Laurent entre l'île d'Orléans et la rive sud (au centre)	2
00QU02PH9064**	Fleuve Saint-Laurent entre l'île d'Orléans et la rive sud (partie nord)	2
00QU02PE9065**	Fleuve Saint-Laurent entre l'île d'Orléans et la rive nord (partie sud)	2
00QU02PE9066**	Fleuve Saint-Laurent entre l'île d'Orléans et la rive nord (au centre)	2
00QU02PE9067*	Fleuve Saint-Laurent entre l'île d'Orléans et la rive nord (partie nord)	2

LOCALISATION DES STATIONS DU RÉSEAU DU FLEUVE SAINT-LAURENT

Numéro de la station No HAQUADAT	DESCRIPTION DE LA STATION	FRÉQUENCE D'ÉCHANTILLONNAGE
00QU02PH9025	Fleuve Saint-Laurent sur le traversier Québec-Lévis lors de la traversée; robinet d'eau de refroidissement des moteurs	3
00QU02PH9024	Fleuve Saint-Laurent, prise d'eau de l'usine de filtration de Lévis	3
00QU02PH9037	Fleuve Saint-Laurent au quai de Lévis sur le traversier face à Québec	3
00QU020A9013*	Fleuve Saint-Laurent entre Grande Île et la rive sud (près de Boucherville) à 600 m de l'île sous la ligne de transmission	11
00QU020A9031*	Fleuve Saint-Laurent entre l'île au Veau et Grande Île au centre de la voie navigable sous la ligne de transmission	11
00QU020A9014*	Fleuve Saint-Laurent entre l'île au Veau et Pointe-aux-Trembles sous la ligne de transmission à 400 m de l'île	11
00QU020J9015*	Fleuve Saint-Laurent à 300 m en aval de l'île Evers (près de Varennes) entre l'île aux Cerfeuils et l'île des Lauriers	11
00QU020J9039*	Fleuve Saint-Laurent à 100 m de la rive Nord, près de Repentigny	11
00QU020J9040*	Fleuve Saint-Laurent à 200 m en amont de l'île Beauregard (cap Saint-Michel) au centre du fleuve	11
00QU020B9041*	Fleuve Saint-Laurent à 100 m en aval de l'île Hertel (près du cap Saint-Michel au centre de la voie navigable)	11
00QU020B9016	Fleuve Saint-Laurent à 25 m du quai de Lanoraie	4
00QU020J9027	Fleuve Saint-Laurent au centre de la voie navigable en face de Lanoraie	4
00QU020J9017	Fleuve Saint-Laurent à 50 m de la rive sud en face de Lanoraie	4
00QU020B9018	Fleuve Saint-Laurent aux îles de Sorel entre les îles Dupras et aux Castors, route 347 à Saint-Ignace de Loyola	3

LOCALISATION DES STATIONS DU RÉSEAU DU FLEUVE SAINT-LAURENT

Numéro de la station No NAQUADAT	DESCRIPTION DE LA STATION	FRÉQUENCE D'ÉCHANTILLONNAGE
01QU020A9009	Fleuve Saint-Laurent au lac Saint-Louis à 150 m de la pointe à Fourneau vis-à-vis la bouée noire (01QU020A0032)	3
01QU020A9010	Fleuve Saint-Laurent au lac Saint-Louis entre la pointe Mercier et l'île Mercier vis-à-vis le chenal pour petites embarcations	3
01QU020A9032	Fleuve Saint-Laurent au lac Saint-Louis au chenal Bergeron, en aval de l'île du Diable	3
00QU02MC9033	Rivière Saint-Louis sur le pont de la route 132 à Beauharnois (00QU02MC3002)	3
01QU020A9034	Fleuve Saint-Laurent au lac Saint-Louis à 300 m en amont de la Grande Île	3
01QU020A9035	Fleuve Saint-Laurent au lac Saint-Louis à 600 m au large de l'île Tambault	3
01QU020A9036	Fleuve Saint-Laurent au lac Saint-Louis à environ 300 m en aval de l'embouchure du ruisseau Saint-Jean	3
00QU020A9028	Fleuve Saint-Laurent à la prise d'eau de l'usine de filtration de Montréal (Charles J. Desbaillet) (Station GEMS)	4
00QU020A9011	Fleuve Saint-Laurent sur l'estacade près de l'île des Soeurs au centre du troisième tablier	3
00QU020A9012	Fleuve Saint-Laurent sur le pont d'accès aux écluses de Saint-Lambert en amont de la voie ferrée (00QU020A0023)	4
05QU02LB9001	Rivière des Outaouais sur le barrage de Carillon	5
00QU020A9002	Rivière des Outaouais, canal Sainte-Anne à Sainte-Anne-de-Bellevue sous la route 20	4
00QU020A9003	Fleuve Saint-Laurent, rivière des Prairies à la prise d'eau de l'usine de filtration de Chomedey	3
00QU020A9004	Fleuve Saint-Laurent, rivière des Prairies sur le pont Pie IX à 60 m de la rive nord au sud du deuxième pilier	3

LOCALISATION DES STATIONS DU RÉSEAU DU FLEUVE SAINT-LAURENT

Numéro de la station No MAQUADAT	DESCRIPTION DE LA STATION	FRÉQUENCE D'ÉCHANTILLONNAGE
00QU020A9005	Fleuve Saint-Laurent, rivière des Mille Iles à la prise d'eau de l'usine de filtration de Laval-Ouest	3
00QU020A9006	Fleuve Saint-Laurent, rivière des Mille Iles à la prise d'eau de l'usine de filtration de Terrebonne	3
00QU02MC9007	Fleuve Saint-Laurent, canal de Beauharnois à Valleyfield, pont de la route 132, au centre de la voie navigable	4
00QU02MC9030	Fleuve Saint-Laurent, au déversoir du barrage de Pointe-aux-Cascades à Melocheville	3
00QU02MC9029	Fleuve Saint-Laurent, au centre du barrage de Beauharnois, sur la route 132 en aval du barrage sur le deuxième pont	3
01QU020A9008	Fleuve Saint-Laurent, au lac Saint-Louis, à 30 m de la pointe Charlebois	3
00QU02MC9201	Fleuve Saint-Laurent, au lac Saint-François, face à l'usine d'épuration de Cornwall à 250 m de la rive	4
00QU02MC9202	Fleuve Saint-Laurent, au lac Saint-François, près de la bouée du diffuseur de Cornwall à 325 m en amont de l'île Pilon	4
00QU02MC9203	Fleuve Saint-Laurent, au lac Saint-François, entre les îles Cornwall et Pilon, voie navigable, à 550 m au nord de l'île Cornwall	4
00QU02MC9204	Fleuve Saint-Laurent, au lac Saint-François, à 200 m au sud de l'île Cornwall vis-à-vis de la bouée route No D96	4
00QU02MC9205	Fleuve Saint-Laurent, au lac Saint-François, voie navigable, au sud de l'île Cornwall, en amont des bouées D95 et D96	4
00QU02MC9206	Fleuve Saint-Laurent, au lac Saint-François, à 250 m au nord de la réserve Saint-Régis à l'extrême ouest	4

LOCALISATION DES STATIONS DU RÉSEAU DU FLEUVE SAINT-LAURENT

Numéro de la station No NAQUADAT	DESCRIPTION DE LA STATION	FRÉQUENCE D'ÉCHANTILLONNAGE
00QU02MC9208	Fleuve Saint-Laurent, au lac Saint-François, du côté nord entre Cornwall et l'île Cornwall, à 200 m de la rive de Cornwall	3
00QU02MC9209	Fleuve Saint-Laurent, au lac Saint-François, voie navigable entre Cornwall et l'île Cornwall près de la bouée No DC6	3
00QU02MC9210	Fleuve Saint-Laurent, au lac Saint-François, du côté sud entre Cornwall et l'île Cornwall, à 200 m de l'île Cornwall	3
00QU02MC9042	Fleuve Saint-Laurent à la prise d'eau de Valleyfield	3
00QU02MC9043	Fleuve Saint-Laurent au pont, route 201 entre l'île d'Aloigny et Valleyfield	3
00QU02MC9044	Fleuve Saint-Laurent, route 201 entre l'île Léonard et l'île d'Aloigny (partie centre)	3
00QU02MC9045	Fleuve Saint-Laurent, route 201 entre Coteau-Landing et l'île Léonard (partie nord)	3
00QU020A9046	Rivière des Outaouais à Dorion près de la route 20, première bouée en amont	3
00QU020A9047	Rivière des Prairies à la sortie du lac des Deux Montagnes	3
01QU020A9048	Lac des Deux Montagnes en aval de la pointe des Carrières à la croisée des voies navigables	3
01QU020A9049	Fleuve Saint-Laurent, lac des Deux Montagnes, chenal privé, quatrième bouée rouge de la rive nord	3
01QU020A9050	Fleuve Saint-Laurent, lac des Deux Montagnes, chenal privé, deuxième bouée rouge de la rive nord	3
00QU020G9051	Fleuve Saint-Laurent entre l'île-de-Grâce et l'île Ronde (Sainte-Anne-de-Sorel)	3
00QU020G9052	Fleuve Saint-Laurent entre l'île Ronde et l'île Madame (Sainte-Anne-de-Sorel)	3

LOCALISATION DES STATIONS DU RÉSEAU DU FLEUVE SAINT-LAURENT

Numéro de la station No NAQUADAT	DESCRIPTION DE LA STATION	FRÉQUENCE D'ÉCHANTILLONNAGE
00QU020B9053	Fleuve Saint-Laurent, sur la route 347 entre l'île Dupras et l'île Saint-Ignace (îles de Sorel)	3
00QU020B9054	Fleuve Saint-Laurent, sur la route 347 entre Berthierville et l'île-aux-Castors	3
00QU02PL9055	Fleuve Saint-Laurent au quai industriel de Bécancour en amont face au poteau 26	3
00QU02PA9056	Fleuve Saint-Laurent, voie navigable en amont du quai industriel de Bécancour	3
00QU02PA9057	Fleuve Saint-Laurent, à 100 m en aval de l'île Valdor (Ville de Champlain)	3
00QU02PK9058	Fleuve Saint-Laurent, à 30 m du quai de Leclercville, en amont de la rivière du Chêne	3
00QU02PK9059	Fleuve Saint-Laurent, en aval de la rivière du Chêne à 200 m de la rive sud (Leclercville)	3

* Projet de l'émissaire de la CUM.

** Stations de l'île d'Orléans, dont l'échantillonnage a débuté l'été.

ANNEXE 2

CODES NAQUADAT DES PARAMÈTRES MESURÉS DANS LE RÉSEAU DE SURVEILLANCE DU FLEUVE SAINT-LAURENT EN 1983-1984

PARAMÈTRES MESURÉS DANS LE RÉSEAU DE SURVEILLANCE DU FLEUVE SAINT-LAURENT (1983-1984)

Code de NAQUADAT*	Paramètre	Nombre de stations	Nombre de données validées
00106 L	Bilan ionique	43	153
00120 L,M*	Somme des cations	43	153
00125 L,M	Somme des anions	43	153
02011 L,M,R	Couleur apparente	43	159
02041 L,M	Conductivité spécifique, laboratoire	77	103
02041 F,S	Conductivité spécifique, terrain	77	193
02051 F,S	Conductivité spécifique à température ambiante	2	2
02061 F,S	Température de l'eau	77	272
02073 L,M,R	Turbidité	77	293
06001 P	Carbone organique total	2	2
06002 P,R	Carbone organique total, calculé	77	227
06101 P,R	Carbone organique dissous	77	229
06537 M,P,R	Phénols	7	42
06604 M,P	Cyanures dissous	7	7
06605 M,P	Cyanures totaux	7	42
06902 P,R	Carbone organique particulaire	77	228
07010 P	Azote Kjeldahl total	77	273
07112 L,M,R	Nitrites et nitrates	77	294
07555 M,P,R	Ammoniaque	7	66
08102 S	Oxygène dissous (oxymètre)	2	2
10101 L,M,R	Alcalinité	43	160
10301 F,S	pH, terrain	77	227
10301 L,M	pH, laboratoire	43	70
10401 L,M,R	Résidus non filtrables	77	293
10603 L,M,R	Dureté totale, calculée	43	153
11105 L,M,R	Sodium dissous	43	160
12102 L,M,R	Magnésium dissous	43	160
15406 M,P.R	Phosphore total	77	291
16306 L,M,R	Sulfates dissous	43	160
17203 L,M,R	Chlorures dissous	43	160
17811 L	Hexachlorobenzène	27	160
18000 L	p,p'-DDT	27	118
18005 L	o,p'-DDT	27	118
18010 L	p,p'-TDE	27	118
18020 L	p,p'-DDE	27	118
18030 L	p,p'-Methoxychlore	27	118
18040 L	Heptachlore	27	118
18045 L	Epoxide d'heptachlore	27	118
18050 L	Alpha-endosulfan	27	118
18055 L	Beta-endosulfan	27	118
18060 L	Alpha(cis)chlordane	27	118
18065 L	Gamma(trans)chlordane	27	118
18070 L	Gamma BHC (lindane)	27	118
18075 L	Alpha BHC	27	118
18125 L	Mirex	27	118
18130 L	Aldrine	27	118
18140 L	Endrine	27	118

PARAMÈTRES MESURÉS DANS LE RÉSEAU DE SURVEILLANCE DU FLEUVE SAINT-LAURENT (1983-1984)

Code de NAQUADAT*		Paramètre	Nombre de stations	Nombre de données validées
18150	L	HEOD (dieldrine)	27	118
18164	L	Arochlore	27	118
19102	L,M,R	Potassium dissous	43	160
20103	L,M,R	Calcium dissous	43	153
24003	P	Chrome total	77	256
25004	P	Manganèse total	77	246
26004	P	Fer total	77	211
26005	P	Fer total	77	35
28002	P	Nickel total	77	256
29005	P	Cuivre total	77	249
29006	P	Cuivre total	77	6
30004	P	Zinc total	77	4
30005	P	Zinc total	77	252
36002	M,R	Coliformes totaux	7	63
36013	M,R	Coliformes fécaux	7	57
36102	M,R	Streptocoques fécaux	7	62
48002	P	Cadmium total	77	256
80311	P	Mercure extractible	52	93
82002	P	Plomb total		256

* Types d'analyses:

F: mesuré sur le terrain
S: mesuré in situ
L: mesuré en laboratoire
M: médiane de plusieurs mesures
R: moyenne d'une série de sous-échantillons
P: préservé

Source: Direction de la qualité des eaux, 1984. Dictionnaire des codes paramétriques de NAQUADAT.

ANNEXE 3

MODES DE PRÉPARATION DES CONTENANTS, ET MODES DE PRÉSERVATION UTILISÉS POUR LES ÉCHANTILLONS RÉCOLTÉS DANS LE RÉSEAU DE MONITORAGE DU FLEUVE SAINT-LAURENT

MODES DE PRÉPARATION DES CONTENANTS, ET MODES DE PRÉSERVATION UTILISÉS POUR LES ÉCHANTILLONS RÉCOLTÉS DANS LE RÉSEAU DE MONITORAGE DU FLEUVE SAINT-LAURENT (1983-1984)

Paramètres mesurés	Contenant	Mode de préparation	Préservation de l'échantillon	Délai de conservation
pH, conductivité alcalinité, couleur, ions principaux	1 L, polyéthylène	Rinçage à l'acide sulfochromique, et à l'acide nitrique 1:1	Garder au froid (4°C)	24h
Nitrites-nitrates	200 mL, polypropylène	Rinçage à l'acide sulfochromique	Garder au froid (4°C)	24h
Carbone organique total, ammoniaque	500 mL en verre ambré	Rinçage à l'acide chromique	1 mL H_2SO_4 30%	1 mois
Carbone organique dissous	1 L en verre	Rinçage à l'acide sulfochromique	Garder au froid (4°C)	1 mois
Phosphore total	125 mL en verre (Sovirel)	Rinçage à l'acide sulfochromique	1,25 mL H_2SO_4 30%	24h
Métaux lourds (Fe, Mn, Cr, Cu, Zn, Pb, Cd)	500 mL en polyéthylène	Rinçage à l'acide sulfochromique et à l'acide nitrique 1:1	1 mL HNO_3 conc.	6 mois
Arsenic et selenium	500 mL en polyéthylène	Rinçage à l'acide chromique	Garder au froid (4°C)	6 mois
Mercure	125 mL en verre (Sovirel)	Rinçage à l'acide sulfochromique et à l'acide nitrique 1:1	1,25 mL H_2SO_4 certifié 1,25 mL $K_2Cr_2O_7$ 5%	1 mois
Composés organiques	1 L en verre avec bouchon garni de papier d'aluminium	Rinçage à l'acide sulfochromique à l'acétone et à l'hexane; rinçage du papier dans l'hexane	Garder au froid (4°C)	3 mois

MODES DE PRÉPARATION DES CONTENANTS, ET MODES DE PRÉSERVATION UTILISÉS POUR LES ÉCHANTILLONS RÉCOLTÉS DANS LE RÉSEAU DE MONITORAGE DU FLEUVE SAINT-LAURENT (1983-1984)

Paramètres mesurés	Contenant	Mode de préparation	Préservation de l'échantillon	Délai de conservation
Colibacilles et streptocoques	250 mL en verre	Stérilisation	Garder au froid (4°C)	24h
Phénols	1 L en verrre ambré avec bouchon garni de papier d'aluminium	Rinçage à l'acide sulfochromique, à l'acétone et à l'hexane; rinçage du papier dans l'hexane	1,5 mL H_3PO_4; 1,0 mL $CuSO_4$	24h
Cyanures	1 L, polyéthylène	Rinçage à l'acide sulfochromique et à l'acide nitrique 1:1	10 mL de NaOH 10%	1 mois

Sources: Échantillonnage de la qualité de l'eau. (Direction de la qualité des eaux, 1983) et Analytical Methods Manual (Env. Can., 1981).)

ANNEXE 4

STATISTIQUES SOMMAIRES SAISONNIÈRES PAR PARAMÈTRE

STATISTIQUES SOMMAIRES SAISONNIÈRES PAR PARAMÈTRE

Paramètre	Unités	Saison	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Écart-type	N
Couleur	unité PtCo	P*	11	944	164	57	237,7	51
		E	1	122	36	28	24,4	56
		A	3	92	43	38	25,5	34
		H	13	158	65	62	37,9	18
Conductivité	uS/cm	P	55	621	230	243	94,4	95
		E	54	500	236	270	82,6	100
		A	73	554	248	294	94,8	73
		H	80	320	254	287	74,1	28
Température	°C	P	0,5	12,0	6,6	6,2	2,7	92
		E	19,0	25,0	22,3	22,2	1,0	100
		A	10,0	16,0	13,2	13,8	1,6	73
		H	0,0	1,5	1,2	1,3	0,4	7
Turbidité	UTJ	P	1,2	84,0	13,4	5,0	18,8	92
		E	0,4	42,0	3,1	2,5	4,3	99
		A	0,4	17,0	4,1	3,8	2,8	74
		H	1,4	19,0	4,7	3,0	3,9	28
Résidus	mg/L	P	2,2	198,5	21,8	7,2	35,7	92
		E	0,6	62,0	5,5	3,1	8,1	99
		A	P 0,1	18,6	6,1	4,8	4,5	74
		H	1,4	20,6	5,7	3,2	4,8	28
Alcalinité	mg $CaCO_3$/L	P	7,9	97,2	61,8	66,6	23,6	52
		E	17,1	90,3	66,7	77,2	23,5	56
		A	16,3	82,8	58,8	68,0	24,3	34
		H	22,2	91,1	71,3	80,5	21,9	18
Dureté calculée	mg $CaCO_3$/L	P	14,1	133,3	84,9	97,8	32,6	52
		E	24,4	127,7	90,6	107,3	33,8	49
		A	26,3	118,8	86,1	103,0	34,3	34
		H	33,9	123,6	100,6	113,4	29,4	18
Calcium	mg/L	P	4,0	40,7	25,4	29,6	10,2	52
		E	6,8	38,6	26,4	31,0	10,1	49
		A	7,4	34,4	25,0	30,2	10,1	34
		H	9,8	36,8	29,7	33,4	8,9	18
Magnésium	mg/L	P	1,0	7,7	5,2	5,7	1,8	52
		E	1,8	8,6	6,0	6,6	2,0	56
		A	1,9	8,0	5,8	6,7	2,2	34
		H	2,3	7,7	6,4	7,2	1,8	18

STATISTIQUES SOMMAIRES SAISONNIÈRES PAR PARAMÈTRE

Paramètre	Unités	Saison	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Écart-type	N
pH	unités	P	6,3	8,3	7,4	7,4	0,4	93
		E	6,2	8,7	7,8	7,9	0,4	99
		A	6,2	8,6	7,6	7,3	0,6	77
		H	6,8	8,1	7,6	7,7	0,3	28
Potassium	mg/L	P	0,8	3,2	1,4	1,4	0,4	52
		E	0,5	1,4	1,0	1,2	0,3	56
		A	0,9	2,2	1,4	1,4	0,3	34
		H	0,9	1,8	1,4	1,4	0,2	18
Sodium	mg/L	P	1,9	12,9	8,2	8,4	2,9	52
		E	2,2	77,6	10,9	10,8	9,7	56
		A	3,2	12,9	9,7	11,6	3,5	34
		H	2,6	16,6	13,2	13,4	3,0	18
Chlorures	mg/L	P	3,1	26,2	15,8	17,4	6,9	52
		E	2,4	113,5	20,6	22,4	14,7	56
		A	3,4	26,6	18,2	22,4	8,0	34
		H	2,9	26,4	21,6	22,6	5,4	18
Sulfates	mg/L	P	7,2	31,0	19,9	21,2	6,8	52
		E	8,9	31,6	22,6	24,8	6,3	56
		A	9,7	33,9	23,6	27,6	7,6	34
		H	10,8	34,2	25,7	26,2	6,6	18
Carbone org. tot. calc.	mg/L	P	6,8	21,6	10,3	10,4	3,6	46
		E	2,6	15,5	9,8	9,9	3,2	97
		A	1,9	16,4	6,8	5,7	3,7	67
		H	2,6	9,3	5,1	4,1	2,2	17
Carbone org. diss.	mg/L	P	6,5	21,6	11,2	10,2	3,6	46
		E	2,5	15,4	9,7	10,0	3,2	98
		A	1,9	16,3	6,7	5,6	3,6	68
		H	2,5	9,2	5,0	4,1	2,2	17
Carbone org. partic.	mg/L	P	0,050	0,300	0,136	0,120	0,066	46
		E	0,040	0,310	0,080	0,070	0,032	97
		A	0,030	0,130	0,066	0,060	0,024	68
		H	0,040	0,150	0,088	0,100	0,033	17
Phosphore total	mg P/L	P	0,002	0,403	0,059	0,037	0,074	92
		E	0,008	0,157	0,030	0,025	0,022	56
		A	P 0,002 **	0,092	0,030	0,028	0,020	71
		H	P 0,002	0,073	0,028	0,023	0,023	28

STATISTIQUES SOMMAIRES SAISONNIÈRES PAR PARAMÈTRE

Paramètre	Unités	Saison	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Écart-type	N
Azote total Kjeldahl	mg N/L	P	0,200	0,600	0,297	0,270	0,088	84
		E	0,130	0,705	0,249	0,239	0,073	97
		A	0,164	4,090	0,347	0,220	0,588	74
		H	0,192	0,730	0,334	0,277	0,137	18
Ammoniaque	mg N/L	P	P 0,001	0,220	0,034	0,011	0,050	73
		E	P 0,001	0,190	0,045	0,039	0,038	28
		A	0,010	0,110	0,046	0,030	0,038	7
		H	0,010	0,140	0,045	0,032	0,041	10
Nitrites et nitrates	mg N/L	P	0,060	2,350	0,297	0,260	0,245	92
		E	P 0,005	0,200	0,108	0,111	0,043	100
		A	0,080	0,840	0,186	0,169	0,114	74
		H	0,210	2,300	0,403	0,297	0,385	28
Phénols	mg/L	P	P 0,001	0,008	0,003	0,002	0,003	7
		E	P 0,001	0,004	0,001	0,001	0,001	28
		A	P 0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	7
		H	-	-	-	-	-	0
Cyanures totaux	mg/L	P	0,002	0,006	0,004	0,003	0,001	7
		E	0,001	0,370	0,047	0,007	0,081	28
		A	0,003	0,013	0,006	0,004	0,004	7
		H	-	-	-	-	-	0
Manganèse	ug/L	P	10	170	26	12	32	81
		E	P 2	50	15	P 10	10	71
		A	P 2	40	13	P 10	7	77
		H	P 2	30	10	P 10	7	17
Fer total	ug/L	P	90	7 550	1 124	460	1 593	81
		E	12	830	230	267	173	71
		A	17	960	306	332	212	77
		H	28	820	236	205	218	17
Cuivre total	ug/L	P	P 1	20	2	2	3	90
		E	P 1	8	2	2	1	71
		A	P 1	64	3	2	7	77
		H	P 1	6	2	2	1	17
Zinc total	ug/L	P	P 1	46	7	4	6	91
		E	P 1	54	3	2	6	71
		A	P 1	130	16	3	23	77
		H	P 1	58	8	4	13	17

STATISTIQUES SOMMAIRES SAISONNIÈRES PAR PARAMÈTRE

Paramètre	Unités	Saison	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Écart-type	N
Nickel total	ug/L	P	P 1	11	2	2	2	91
		E	P 1	3	1	1	1	71
		A	P 1	7	2	1	1	77
		H	P 1	3	2	2	1	17
Plomb	ug/L	P	P 1	11	1	P 1	2	91
		E	P 1	3	P 1	P 1	1	71
		A	P 1	8	P 1	P 1	1	77
		H	P 1	14	3	P 1	3	17
Cadmium	ug/L	P	P 1	P 1	P 1	P 1	-	36
		E	P 1	P 1	P 1	P 1	-	71
		A	P 1	1	P 1	P 1	-	77
		H	P 1	P 1	P 1	P 1	-	17
Mercure	ug/L	P	P 0,02	0,12	P 0,02	P 0,03	0,00	36
		E	P 0,02	0,60	P 0,02	P 0,02	0,01	28
		A	P 0,02	0,57	P 0,02	P 0,02	0,01	12
		H	P 0,02	0,39	P 0,02	0,02	0,01	17
Lindane	ng/L	P	P 1	2	P 1	P 1	0,000	41
		E	P 1	7	1	1	0,001	44
		A	P 1	1	P 1	P 1	0,000	18
		H	P 1	1	P 1	P 1	0,000	15
Alpha BHC	ng/L	P	P 1	20	6	6	4	41
		E	2	9	5	5	2	44
		A	2	6	4	4	1	18
		H	P 1	5	3	2	1	15
Dieldrine (HEOD)	ng/L	P	P 4	9	P 4	P 4	0	41
		E	P 4	9	P 4	P 4	0	44
		A	P 4	P 4	-	-	-	18
		H	P 4	P 4	-	-	-	15
Arochlore (BPC)	ng/L	P	p 9	38	p 9	p 9	9	41
		E	p 9	29	p 9	p 9	3	44
		A	p 9	13	p 9	p 9	2	18
		H	p 9	13	p 9	p 9	2	15
Coliformes totaux	Colonies	P	240	22 000	5 121	2 820	5 552	21
		E	2 800	63 000	18 188	13 400	15 714	21
		A	2 000	13 000	7 829	6 800	4 205	7
		H	1 500	7 700	3 305	2 600	2 244	7

STATISTIQUES SOMMAIRES SAISONNIÈRES PAR PARAMÈTRE

Paramètre	Unités	Saison	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Écart-type	N
Coliformes fécaux	Colonies	P	0	6 600	1 173	550	1 601	21
		E	270	12 000	18 188	1 415	2 981	22
		A	160	3 600	1 523	1 140	1 108	7
		H	510	4 500	1 465	720	1 432	7
Streptocoques	Colonies	P	10	1 060	210	150	261	27
		E	10	490	157	110	153	21
		A	10	290	149	138	109	7
		H	120	720	291	200	220	7

*P: printepms
E: été
A: automne
H: hiver

**P: sous la limite de détection